



**TUGAS AKHIR-TL 141584**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR  
FLUIDA PADA KONDISI LINGKUNGAN KERING DAN  
BASAH TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI PIPA  
BAJA KARBON TERINSULASI BERBAHAN  
GLASSWOOL DAN ALUMINIUM FOIL**

Faridz Mohammad Edrie  
NRP 2713 100 142

Dosen pembimbing  
Budi Agung Kurniawan S.T M.Sc  
Tubagus Noor R, S.T M.Sc

Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknik Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***



**FINAL PROJECT – TL 141584**

**EFFECT OF FLUID TEMPERATURE AND  
ENVIRONMENTAL CONDITIONS TO  
CHARACTERISTICS OF CORROSION ON CARBON  
STEEL PIPE INSULATED GLASSWOOL AND  
ALUMINIUM FOIL**

Faridz Mohammad Edrie  
NRP 2713 100 142

Advisor  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Tubagus Noor R, S.T M.Sc

Department of Material Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR  
FLUIDA ALIR DAN KONDISI LINGKUNGAN  
TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI PADA PIPA  
BAJA KARBON TERISULASI BERBAHAN  
GLASSWOOL DAN ALUMINIUM FOIL**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada**

**Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Faridz Mohammad Edrie  
NRP. 2713 100 142**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Budi Agung Kurniawan ST., M.Sc. .... (Pembimbing I)  
2. Tubagus Noor R S.T., M.Sc. .... (Pembimbing II)



***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

# **Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Pada Kondisi Lingkungan Kering dan Basah Terhadap Karakteristik Korosi Pipa Baja Terinsulasi Berbahan Glasswool dan Aluminium Foil**

**Nama : Faridz Mohammad Edrie**  
**NRP : 2713100142**  
**Departemen : Teknik Material FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan S.T, M.Sc**  
**Tubagus Noor R S.T, M.Sc**

Korosi dibawah insulasi (CUI) adalah jenis korosi yang menjadi masalah utama yang nyata dan sangat berbahaya di lingkungan industry yang menggunakan fasilitas pipa uap air yang terinsulasi sebagai sarana pendukung proses produksi. Kerugian yang ditimbulkan akibat CUI mencapai 40-60% biaya pengeluaran. Korosi di bawah insulasi ini terjadi akibat adanya udara dan air yang terjebak didalam insulasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan kondisi lingkungan terhadap karakteristik korosi pipa terinsulasi bahan glasswool. Pipa akan diuji pada temperatur 45°C, 55°C, 65°C, 75°C. Dengan kondisi lingkungan kering dan lingkungan basah. Rangkaian tersebut akan diuji selama 14 hari. Untuk menganalisa karakteristik korosi yang terjadi dilakukan pengujian SEM, uji XRD, dan uji Weight Loss. Laju korosi pada permukaan luar pipa yang terbungkus insulasi akan meningkat seiring dengan kenaikan temperature. Sementara hasil pengujian XRD menunjukan produk korosi yang terbentuk adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , sedangkan hasil pengujian mikroskop optik dan pengujian SEM menunjukan bahwa jenis korosi yang timbul pada permukaan pipa merupakan *uniform corrosion*.

**Kata kunci: Korosi, Korosi dibawah insulasi, Glasswool, Coating PTFE**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **Effect Of Fluid Temperature and Enviromental Conditions To Characteristics Of Corrosion On Carbon Steel Pipe Insulated Glasswool and Aluminium Foil**

**Name : Faridz Mohammad Edrie**  
**NRP : 2713100142**  
**Department : Material Engineering FTI-ITS**  
**Advisor : Budi Agung Kurniawan S.T, M.Sc**  
**Tubagus Noor R S.T, M.Sc**

## **Abstract**

Corrosion under insulation (CUI) is a type of corrosion that is a major problem that is real and very dangerous in industrial environments that use insulated water vapor facilities as a means of supporting the production process. The losses incurred due to CUI reach 40-60% of the cost of expenditure. Corrosion under this insulation occurs due to the air and water trapped inside the insulation. This study aims to determine the effect of temperature variation and environmental conditions on the corrosion characteristics of insulated glasswool pipe. The pipe will be tested at 45°C, 55°C, 65°C, 75°C. With the environmental conditions used are dry environmental conditions and wet environment. The series will be tested for 14 days. To analyze the corrosion characteristics that occur in the pipeline SEM testing, XRD test, and Weight Loss test are performed. While the XRD test results show the corrosion product formed is  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , while the results of optical microscope testing and SEM testing show that the type of corrosion that arises on the surface of the pipe is a uniform corrosion.

**Keyword : *Corrosion, Corrosion under insulation, Glasswool, Coating PTFE***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Penelitian Tugas Akhir yang berjudul **Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Pada Kondisi Lingkungan Kering dan Basah Terhadap Karakteristik Korosi Pipa Baja Terinsulasi Berbahan Glasswool dan Aluminium Foil**

Penulis menyadari bahwa selama penyusunan tugas akhir ini telah banyak pihak yang dilibatkan untuk membantu penulis menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah S.W.T yang merupakan Rahmatan Lil ‘Alamin
2. Kedua orang tua penulis yang senantiasa mendoakan dan memberikan lecutan semangat kepada penulis.
3. Kedua saudara penulis yang senantiasa memberikan masukan-masukan kepada penulis
4. Bapak Budi Agung Kurniawan S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing yang tidak bosan-bosannya mengarahkan dan memberikan masukan kepada penulis agar penulis lebih terpacu untuk menyelesaikan laporan.
5. Bapak Tubagus Noor R S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu mengarahkan dan memberikan masukan kepada penulis agar penulis lebih terpacu untuk menyelesaikan laporan.
6. Bapak Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T, M.Sc selaku Ketua Prodi S-1 Departemen Teknik Material yang tidak pernah berhenti untuk memberikan informasi terbaru seputar tugas akhir kepada penulis
7. Kepada teman-teman departemen teknik material angkatan 2013 yang selalu menemani dalam proses pengerjaan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis sangat

terbuka dengan kritik dan saran dari pembaca. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan dampak yang besar bagi pembaca. Terima kasih.

Surabaya, 17 Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Korosi.....	5
2.2 Insulasi.....	12
2.3 Coating.....	19
2.4 Korosi Didalam Insulasi (CUI).....	22
2.5 Penelitian Sebelumnya.....	32
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>35</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2 Alat dan Bahan.....	36
3.2.1 Alat.....	36
3.2.2 Bahan.....	37
3.3 Prosedur Penelitian.....	38
3.4 Pengujian.....	43
3.4.1 Pengujian XRD.....	43
3.4.2 Pengujian SEM.....	44
3.4.3 Mikroskop Optik.....	45
3.5 Rencana Pengujian.....	46

<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>47</b>
4.1    Analisa Data.....	47
4.1.1 Hasil Pengamatan Visual .....	47
4.1.2 Hasil Pengujian SEM .....	53
4.1.3 Hasil Pengujian XRD .....	56
4.1.4 Hasil Pengujian Weightloss .....	57
4.2    Pembahasan .....	60
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>65</b>
5.1    Kesimpulan .....	65
5.2    Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxi</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>xxxv</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Syarat Terjadinya Korosi .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Korosi dibawah insulasi.....	23
<b>Gambar 2.3</b> Grafik hubungan antara temperatur dan laju korosi (Winnik, 2016) .....	25
<b>Gambar 2.4</b> Mekanisme Terjadinya Korosi (Winnik. 2016) ...	27
<b>Gambar 2.5</b> Reaksi korosi pada CUI (Winnik. 2016).....	28
<b>Gambar 2.6</b> Penyebab Stress Corrosion cracking.....	30
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	35
<b>Gambar 3.2</b> Scanning Electron Mikroskope (SEM) FEI Inspect S50 .....	36
<b>Gambar 3.3</b> Mesin XRD PAN analitical.....	37
<b>Gambar 3.4</b> Proses Insulasi pipa dengan glasswool dan aluminium foil.....	39
<b>Gambar 3.5</b> Rangkaian pengujian CUI.....	43
<b>Gambar 3.6</b> (a)X-ray Diffractometer; (b)Scanning Electron Microscope (SEM) .....	44
<b>Gambar 4.1</b> Korosi yang timbul pada pipa lingkungan kering: (a) 45 °C (b) 55 °C (c) 65 °C (d) 75 °C.. .....	47
<b>Gambar 4.2</b> Korosi yang timbul pada pipa lingkungan kering: (a) 45 °C (b) 55 °C (c) 65 °C (d) 75 °C. ....	48
<b>Gambar 4.3</b> Hasil mikroskop optik perbesaran 50x lingkungan kering: (a) 45 °C (b) 55 °C.....	49
<b>Gambar 4.4</b> Hasil mikroskop optik perbesaran 50x lingkungan kering: (a) 45 °C (b) 55 °C.....	49
<b>Gambar 4.5</b> Hasil mikroskop optik perbesaran 50x lingkungan kering: (a) 45 °C (b) 55 °C.....	51
<b>Gambar 4.6</b> Hasil mikroskop optik perbesaran 50x lingkungan kering: (a) 45 °C (b) 55 °C.....	52
<b>Gambar 4.7</b> Hasil SEM perbesaran 250x kondisi lingkungan kering temperatur 45 °C .....	53
<b>Gambar 4.8</b> Hasil SEM perbesaran 250x kondisi lingkungan kering temperatur 55 °C. ....	54

<b>Gambar 4.9</b>	Hasil SEM perbesaran 250x kondisi lingkungan kering temperatur 65 °C.....	54
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil SEM perbesaran 250x kondisi lingkungan kering temperatur 75 °C. ....	55
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil XRD pipa setelah pengujian 14 hari.....	56
<b>Gambar 4.12</b>	Laju korosi pada lingkungan kering.....	59
<b>Gambar 4.13</b>	Laju korosi pada lingkungan basah.....	59
<b>Gambar 4.14</b>	Perbandingan Laju Korosi di Lingkungan Basah dan Lingkungan Kering.....	60



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Hubungan laju Korosi dengan Faktor Konstantanya	12
<b>Tabel 2.2.</b> Range temperatur material insulasi .....	16
<b>Tabel 2.3</b> Properties glass mineral wool.....	17
<b>Tabel 2.4</b> Ketebelan Insulasi berdasarkan diameter pipa dan temperatur kerja .....	18
<b>Tabel 2.5</b> Properties PTFE (MetCoat) .....	21
<b>Tabel 2.6</b> Standar tebal layer coating .....	21
<b>Tabel 2.7</b> Risiko terjadi CUI.....	29
<b>Tabel 2.8</b> Kondisi pengujian CUI.....	32
<b>Table 3.1</b> Spesifikasi dan komposisi baja karbon.....	38
<b>Table 3.2</b> Spesifikasi Glasswool.....	38
<b>Table 3.3</b> Rancangan Penelitian .....	46
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Uji Weigh Loss Kondisi Lingkungan Kering..	57
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Uji Weight Loss Kondisi Lingkungan Basah..	59

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Korosi atau pengkaratan menjadi suatu permasalahan yang sangat merugikan dialami oleh suatu industri. Korosi mampu mengakibatkan kerugian finansial cukup besar pada industri. Contohnya akibat korosi berdasarkan survei 2002, perusahaan minyak dan gas di negara Amerika Serikat mengalami kerugian cukup besar mencapai 276 miliar dolar AS per tahunnya. Untuk total kerugian yang dialami perusahaan di Indonesia akibat korosi diperkirakan mencapai 2-5 persen. Meski belum angka pasti berapa kerugian akibat korosi di Indonesia, Angkanya rata-rata bisa mencapai 2-5 persen dari produk domestik bruto suatu Negara. (Harjanto, 2014) Korosi sendiri adalah serangan yang merusak logam melalui bahan kimia atau reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Revie, 2008). Korosi dibawah insulasi (CUI) adalah jenis korosi yang menjadi masalah utama yang nyata dan sangat berbahaya di lingkungan industry Oil and Gas yang menggunakan fasilitas pipa uap air yang terisolasi sebagai sarana pendukung proses produksi. Oleh karena itu berdasarkan API 570, telah menempatkan bahwa jenis korosi di bawah isolasi ini menjadi perhatian khusus dan utama untuk lingkungan industry petroleum dan petrokimia yang memanfaatkan energy panas dalam proses produksinya (Syahril, 2005).

Insulasi pipa juga dibutuhkan untuk mencegah terjadinya heatloss yang besar. Selain itu insulasi juga berguna sebagai pelindung bagi pekerja di lingkungan industry karena temperatur fluida yang mengalir didalam pipa cukup tinggi sehingga membahayakan. Pada dunia industry hal yang paling utama adalah efisiensi biaya produksi dan keselamatan. Baik keselamatan produksi maupun para pekerjanya. Maka insulasi merupakan salah satu cara yang digunakan pada pipa yang beroperasi pada temperatur tinggi.



Dari pemaparan masalah diatas penelitian ini dirasa perlu dilakukan. Agar dapat mengetahui lebih dalam mengenai korosi dibawah insulasi (CUI) dan meminimalkan risiko yang terjadi. Pada penelitian kali ini dilakukan variasi temperatur fluida dan kondisi lingkungan terhadap karakteristik korosi pipa terinsulasi bahan glasswool yang selanjutnya akan dianalisis dengan berbagai pengujian. Variasi temperatur yang digunakan adalah 35 °C, 45 °C, 55 °C, dan 65 °C. kondisi lingkungan yang digunakan adalah lingkungan kering dan lingkungan basah.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur terhadap karakteristik korosi permukaan luar pipa terinsulasi bahan glasswool dan aluminium foil.
2. Bagaimana pengaruh variasi kondisi lingkungan terhadap karakteristik korosi permukaan luar pipa terinsulasi bahan glasswool dan aluminium foil.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pelapisan material coating dianggap merata
2. Temperatur pada fluida dianggap konstan tidak ada perubahan.
3. Pengaruh impurities pada pipa dan coating diabaikan
4. Insulasi glasswool dan aluminium foil terhadap pipa telah memenuhi standar

## **1.4 Tujuan**

Tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi temperatur terhadap karakteristik korosi permukaan luar pipa terinsulasi bahan glasswool dan aluminium foil.



2. Menganalisis pengaruh variasi kondisi lingkungan terhadap karakteristik korosi permukaan luar pipa terinsulasi bahan glasswool dan aluminium foil.

### **1.5 Manfaat**

Hasil dari penelitian yang akan dilakukan ini diharapkan mampu memberi manfaat sebagai berikut:

1. Diketahui pengaruh temperatur pada karakteristik korosi permukaan luar dibawah insulasi bahan glasswool dan aluminium foil
2. Memahami lebih dalam tentang fenomena korosi dibawah insulasi.
3. Mengetahui kondisi lingkungan yang optimal untuk menghindari korosi dibawah insulasi.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Korosi**

##### **2.1.1 Definisi Korosi**

Korosi adalah serangan yang merusak logam melalui bahan kimia atau reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Revie, 2008). Atau korosi dapat diartikan juga sebagai kerusakan material melalui reaksi dengan lingkungan. Beberapa membatasi definisi tersebut dengan hanya terjadi pada logam, tetapi seringkali korosi mempertimbangkan terjadi diantara logam dan non logam.

Korosi bisa terjadi secara cepat maupun lambat. *Stainless steel* dapat terserang korosi dalam beberapa jam hanya dengan *polythionic acid*. Jalur kereta api selalu memperlihatkan permukaan yang berkarat walaupun hal tersebut tidak terlalu mengganggu performanya. Korosi bisa disebut juga sebagai siklus dari suatu baja itu sendiri, kebanyakan *iron ore* memiliki kandung oksida di dalamnya, dan baja atau besi ketika mengalami korosi oleh air dan oksigen akan menghasilkan oksida juga. Maka korosi bisa dikatakan sebagai reaksi kebalikan dari suatu besi atau baja. (Fontana, 1987)

##### **2.1.2 Prinsip Dasar Korosi**

Reaksi korosi dapat dianggap sebagai berlangsung oleh dua reaksi simultan: oksidasi logam di sebuah anoda (akhir terkorosi melepaskan elektron) dan pengurangan zat di katoda (akhir dilindungi menerima elektron). Agar reaksi terjadi, kondisi berikut harus ada:

1. Perbedaan potensial kimia harus ada antara lokasi yang berdekatan pada permukaan logam (atau antara paduan dari komposisi yang berbeda)
2. Elektrolit harus hadir untuk memberikan solusi konduktivitas dan sebagai sumber bahan harus dikurangi di katoda



3. Jalur listrik melalui logam atau antara logam harus tersedia untuk memungkinkan aliran elektron. (Charng, 1982)

Korosi menurut Jones adalah reaksi kimia yang dihasilkan dari reaksi setengah sel yang melibatkan elektron sehingga menghasilkan suatu reaksi elektrokimia. Dari dua reaksi setengah sel tersebut terdapat reaksi oksidasi dan reduksi secara berturut-turut pada anoda dan katoda. Sedangkan proses korosi dapat terjadi jika ada tiga komponen utama dalam sel korosi (Jones, 1992) sebagai berikut :

1. Logam atau Material

Didalam logam atau Material itu sendiri terdapat 2 komponen penting dalam penentuan terjadinya reaksi korosi, yaitu:

- 1) Anoda

Anoda adalah tempat terjadinya reaksi oksidasi dimana ion negatif terkumpul. Anoda dapat didefinisikan sebagai bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Anoda sendiri biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Pada anoda, logam terlarut dalam larutan kemudian melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut



Dengan banyaknya elektron yang diambil dari masing-masing atom yang ditentukan oleh valensi logam tersebut. Umumnya nilai dari n adalah 1, 2 atau 3.

- 2) Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi dengan menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada





lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan  $O_2$  dan reduksi  $O_2$ .

- Pelepasan  $H_2$  dalam larutan asam dan netral.

Evolusi hidrogen / larutan asam:

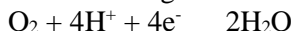


Reduksi air / larutan netral /basa:

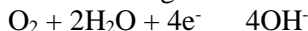


- Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral

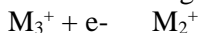
Reduksi oksigen / asam:



Reduksi oksigen / netral atau basa:



- Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif



## 2. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi dan melengkapi rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik

## 3. Kontak Metallik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Syarat Terjadinya Reaksi Korosi

### 2.1.3 Faktor Penyebab Korosi

Laju korosi pada lingkungan netral normalnya adalah 1 mpy atau kurang. Umumnya problem korosi disebabkan oleh air tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya (ASM Handbook, 2003):

- a. Faktor gas dan kandungan terlarut
  - ) Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), jika karbon dioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:
 
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$$

$$\text{Fe} + \text{H}_2\text{CO}_3 \Rightarrow \text{FeCO}_3 + \text{H}_2$$
 $\text{FeCO}_3$  merupakan *corrosion product* yang dikenal sebagai *sweet corrosion*
  - )  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (Asam Asetat), Asam asetat bersifat korosif terhadap banyak logam seperti besi, magnesium, dan seng, membentuk gas hidrogen dan garam-garam asetat (disebut logam asetat). Asam Asetat menghasilkan logam etanoat bila bereaksi dengan logam, dan menghasilkan logam



etanoat, air, dan karbondioksida bila bereaksi dengan garam karbonat atau bikarbonat.

- ) Oksigen ( $O_2$ ), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild steel alloys* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :

Reaksi Anoda :  $Fe \Rightarrow Fe^{2+} + 2e$

Reaksi katoda :  $O_2 + 2H_2O + 4e \Rightarrow 4OH^-$

- ) Klorida ( $Cl^-$ ), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya paduan. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif, laju korosinya juga akan lebih tinggi.
- ) Karbonat ( $CO_3^{2-}$ ), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan logam, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.
- ) Sulfat ( $SO_4^{2-}$ ), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.



b. Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

c. Faktor pH

pH dalam proses korosi sangat berpengaruh untuk terjadi apa tidaknya proses korosi. Besarnya pH biasanya dinyatakan dengan angka berkisar antara 0-14. Jika pH berkisar antara 0–7 maka lingkungan bersifat asam sedangkan bila pH berkisar antara 7–14 maka lingkungan bersifat basa. Lingkungan dinyatakan netral bila memiliki pH 7. Sedangkan untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada  $\text{pH} < 7$  dan pada  $\text{pH} > 13$ .

d. Faktor Bakteri Pereduksi

Pada kasus tertentu pada lingkungan bisa hidup sejenis bakteri anaerobic yang hanya bertahan dalam kondisi tanpa zat asam. Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas  $\text{H}_2\text{S}$ , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi

e. Faktor Aliran Fluida

Aliran fluida yang tinggi diatas kecepatan kritisnya di dalam pipa berpotensi menimbulkan korosi. Kerusakan permukaan logam yang disebabkan oleh aliran fluida yang sangat deras itu yang disebut erosi. Bagian yang kasar dan tajam yang akan mudah terserang korosi dan bila ada gesekan akan menimbulkan abrasi lebih berat lagi.(Bayuseno.2012) Proses erosi dipercepat oleh kandungan partikel padat dalam fluida yang mengalir tersebut atau oleh adanya gelembung-gelembung gas. Dengan rusaknya permukaan logam, rusak pula lapisan film pelindung sehingga memudahkan terjadinya korosi . Kalau hal ini terjadi maka proses ini disebut karat erosi.



### 2.1.4 Perhitungan laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. metode yang digunakan untuk mengetahui laju korosi adalah weight loss. Metode kehilangan berat adalah metode paling sederhana dan paling mudah daripada semua metode pengukuran laju korosi yang lain. Dalam metode ini dimensi awal seperti panjang, diameter dan berat spesimen diukur secara akurat. Kemudian spesimen ditanam dalam media korosif selama beberapa hari. Spesimen akan mendapatkan reaksi dengan lingkungan pada durasi tertentu sehingga dapat spesimen akan mengalami kehilangan berat. Setelah durasi paparan tertentu spesimen dikeluarkan dari media korosif kemudian dibersihkan dan ditimbang.

Berdasarkan ASTM G31-72, persamaan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut

$$L \quad k \quad = \quad \frac{K.W}{D.A.T} \quad (2.1)$$

dimana :

K = konstanta (mpy =  $3.45 \times 10^6$ )

W = kehilangan berat (gram)

D = densitas (gram/cm<sup>3</sup>)

A = luas permukaan yang terendam (cm<sup>2</sup>)

T = waktu (jam)



Dengan Pengkonversian unit satuan laju korosi dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Hubungan laju Korosi dengan Faktor Konstantanya

Desired Corrosion Rate Unit (CR)	Area Unit (A)	K-Factor
Mils/years(mpy)	In <sup>2</sup>	$5.44 \times 10^6$
Mils/years(mpy)	cm <sup>2</sup>	$3.45 \times 10^6$
Milimeters/years(mpy)	cm <sup>2</sup>	$8.75 \times 10^4$

MPY adalah perhitungan kecepatan korosi yang paling populer di amerika seerikat, meskipun ditambahkan penggunaan metric units dibeberapa tahun belakangan ini. Konversi Ke Equivalent Metric Penetration Rate sebagai berikut :

$$1\text{mpy}=0,0254\text{mm/yr}=25,4\mu\text{m/yr}=2,90\text{mm/h}=0,805\text{pm/yr}$$

## 2.2 Insulasi

Insulasi biasanya diaplikasikan di industry khususnya Oil and Gas pada pipa dengan temperatur operasi sekitar 20 °C - 175 °C, dimana perlu diberikan lapisan untuk melindungi beberapa factor yang dapat ditimbulkan oleh pipa itu sendiri.

### 2.2.1 Jenis Insulasi

1. Insulasi kering  
 Insulasi kering memerlukan penghalang (barrier) luar untuk mencegah water ingress (pipe-in-pipe)
2. Insulasi basah  
 Insulasi basah tidak memerlukan penghalang (barrier) luar untuk mencegah water ingress, atau keberadaan water ingress diabaikan karena tidak menurunkan sifat insulasi



### **2.2.2 Fungsi Insulasi**

Untuk aplikasi umum insulasi diberikan bertujuan untuk (Batty, 2006):

1. Menjaga temperatur selalu konstan  
Pada pipa yang didalamnya mengangkut uap atau fluida dengan temperatur tertentu dibutuhkan suatu alat pembantu untuk menstabilkan temperaturnya sehingga tidak memungkinkan untuk terjadinya Shock Thermal
2. Peredam Panas  
Pipa yang memiliki temperatur tinggi diberikan insulasi untuk mengurangi panas yang dihasilkan pada permukaan yang dapat mengganggu kinerja instrument lain.
3. Menghindari kebakaran  
Dengan adanya insulasi maka apabila adanya kebakaran yang terjadi maka ini dapat melindungi pipa dari keadaan diluarnya.
4. Proteksi panas  
Menggunakan insulasi dapat melindungi pekerja terhadap panas yang dihasilkan oleh pipa sehingga factor keamanan dapat tercapai.

### **2.2.3 Sifat Insulasi**

Ditinjau dari fungsinya maka sifat-sifat insulasi yang paling penting antara lain:

1. Konduktifitas Termal  
Makin rendah nilai konduktifitas termal, makin baik insulasi dalam mencegah perpindahan panas
2. Kekuatan Material  
Material insulasi harus mampu menahan beban atau getaran dalam aplikasinya, penanganan, tumpukan tinggi dalam penyimpanan, atau banyaknya getaran saat pengapalan
3. Ketahanan Terhadap Uap Air



Pada material yang berpori, ruang udara dapat terisi dengan cepat dengan air. Material harus memiliki sifat penyerapan yang rendah serta harus memiliki kemampuan untuk mengeringkan.

4. Ketahanan Terhadap Api

Material insulasi harus dapat menahan posisi dan bentuknya saat kebakaran terjadi, dan juga tidak menjadi bahan bakar yang dapat memperbesar api serta mengeluarkan asap dan gas beracun. Selain itu juga memiliki kemampuan untuk menyerap kebakaran atau cairan beracun.

### **2.2.4 Material Insulasi**

Menurut standar NACE RP0198-98 “The Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Material”, material insulasi diklasifikasikan menjadi delapan kategori, yaitu:

1. Calcium Silicate

Calcium silicate merupakan insulasi kaku yang tersusun dari hydrous calcium silicate dan biasanya bergabung penguat fiber. Calcium silicate diperuntukan sebagai insulasi temperatur tinggi. Pada temperatur ambient dapat menyerap sampai 400% dari beratnya saat dicelupkan ke air. Bersifat higroskopis dan akan menyerap 20% sampai 25% berat air pada kondisi lembab dari kehadiran uap air pada udara.

2. Expanded perlite

Expanded perlite tersusun dari inorganic silicate binders, fibrous reinforcement dan tambahan silicone water resistant. Termasuk dalam material yang kaku sebagai pelapis pada pipa. Material ini digunakan untuk insulasi temperatur moderate sampai tinggi. Pada temperatur rendah, penambahan untuk ketahanan air memberikan perlindungan dari air. Pada temperatur tinggi sekitar 135





°C jenis insulasi ini kemampuan tahan terhadap air akan berkurang.

3. Man-made Mineral Fibers

Jenis ini secara umum disebut seperti batuan, slag atau glass yang diperoleh dari bagian leleh menjadi bentuk fibre dan mengandung pengikat organik. Umumnya digunakan dari temperatur ambient sampai tinggi (-25 °C sampai 200 °C). Bergantung dari jenis pengikatnya kemampuan insulasi fiber dapat digunakan untuk mencegah adanya air. Insulasi ini baik dalam menyebarkan uap air dan larutan korosif ke permukaan baja, serta memperbolehkan air merembes untuk menguap. Gagalnya proses pemasangan sambungan pada insulasi ini merupakan area yang berbahaya karena uap air dapat berpindah tempat ke sistem insulasi.

4. Cellular glass

Cellular glass adalah material blok kaku yang berbusa di bawah cair untuk membentuk struktur sel tertutup. Biasanya digunakan di bawah temperatur ambient sampai temperatur tinggi (-25 °C sampai 200 °C) cellular glass tahan air dan menahan dalam sejumlah kecil air pada sambungannya yang tidak terpasang dengan baik. Air masuk melalui retak atau sambungan pada sistem insulasi dapat menjangkau permukaan logam dan dapat menyebabkan korosi dan SCC.

5. Organic Foam

Tipe yang paling banyak digunakan di industri termasuk polyurethane, polyisocyanurate, flexible elastomeric, dan phenolic. Polystyrene dan polyolefin jarang digunakan karena keterbatasan temperatur. Organic foam digunakan pada aplikasi dengan temperatur yang sama dengan cellular glass. Jenis insulasi ini mengandung berbagai



macam unsur, seperti klorida, flourida, silikat dan ion sodium yang terlepas. Hal tersebut menjadikannya perhatian khusus karena dapat mempercepat laju korosi saat pengaplikasiannya.

6. Ceramic fiber

Menurut ASTM, ceramic fiber terpisah dari mineral fiber buatan manusia. Umum digunakan pada aplikasi temperatur tinggi. Penggunaan insulasi ini jarang digunakan pada temperatur rendah karena terbatas dengan harganya yang tinggi

7. Prefabricated systems

Banyak produk di pasaran menggabungkan material insulasi dengan berbagai aksesoris untuk menghasilkan prefabricated systems dengan tujuan menaikkan efisiensi instalasi atau keseluruhan performa servis. Seluruh komponen dari sistem harus dipertimbangkan untuk aplikasi yang unggul

8. Historical material

Material yang sudah tidak lama dimanufaktur, atau jarang digunakan belakangan ini, mungkin diperhatikan dalam sistem yang ada.

Tabel 2.2 Range temperatur material insulasi

Insulation Material	Temperature Range			
	Low		High	
	( <sup>o</sup> C)	( <sup>o</sup> F)	( <sup>o</sup> C)	( <sup>o</sup> F)
Calcium Silicate	18	0	650	1200
Cellular Glass	-250	-450	480	900
Elastomeric foam	55	70	120	250
Fiberglass	-30	-20	640	1000
Mineral Wool, Ceramic fiber			1200	2200
Mineral Wool, Glass	0	32	250	400
Mineral Wool, Stone	0	32	760	1400
Phenolic foam			150	300
Polyisocyanurate, polyiso	180	290	150	300
Polystyrene	-50	-60	75	165
Polyurethane	-270	-450	120	250
Vermiculite	272	459	760	1400



## 2.2.5 Glass Mineral Wool

Berikut merupakan properties dari mineral glasswool:

Tabel 2.3 Properties glass mineral wool (Thermal Insulation Handbook)

GLASS MINERAL WOOL				
1	Density (and range, if applicable)	10 to 80 kg/m <sup>3</sup>		
2	Thermal Conductivity	Thermal conductivity (W/mK) at density indicated below		
	Mean temp °C	16 kg/m <sup>3</sup>	48 kg/m <sup>3</sup>	80 kg/m <sup>3</sup>
	-20	0.021	0.028	0.028
	10	0.037	0.030	0.031
	20	0.040	0.032	0.032
	50	0.047	0.035	0.035
	100	0.065	0.044	0.042
3	Service Temperature range	- 200 to 150°C		
4	Reaction to Fire Characteristics	Non Combustible		
	a. Combustibility to BS476 part 4	Non Combustible		
	b. Surface spread to flame to BS476 part 7	Class 1		
	Insulant (if appropriate)	Class 1		
	Composite finish (if appropriate)	Class 1		
	Foil faced products (if appropriate)	Class 1		
	c. Building Regulations	Class 0		
	Insulate (if appropriate)	Class 0		
	Composite finish (if appropriate)	Class 0		
	Foil faced products (if appropriate)	Class 0		
5	Water Vapour Transmission	N/A		
	Insulant (if appropriate)	N/A		
	Composite finish/foil faced product (if appropriate)	0.001 g/(s. MN)		
6	Mechanical Properties	1 to 8 kN/m <sup>2</sup> at 5% deformation		
	a. Compressive strength	N/A		
	b. Flexural strength	N/A		
	c. Tensile strength	N/A		
7	Thickness Range	Available from 15 to 150mm		
8	Forms available	Blown Fibre, Pipe Sections, Rolls, Slabs		
TYPICAL USES AND APPLICATIONS				
Glass mineral wool is available in a wide range of forms ranging from flexible rolls to rigid slabs and preformed pipe sections. It is particularly suitable for thermal and acoustic applications in the H & V sector and is also used as both a thermal and an acoustic insulation in transport, shipping, building and industrial applications.				



### 2.2.6 Tebal Insulasi

Ketebalan insulasi yang digunakan mengacu kepada NORSOK standard, dimana pada tabel di bawah dapat dilihat ketebalan insulasi berdasarkan diameter pipa dan temperatur kerja.

Tabel 2.4 Ketebalan Insulasi berdasarkan diameter pipa dan temperatur kerja

DN	Maximum operating temperatures °C							
mm	100	150	200	250	300	350	400	420
20	30	30	30	30	50	50	50	50
25	30	30	50	50	50	50	50	50
32	30	30	50	50	50	50	50	50
50	30	30	50	50	50	50	80	80
65	30	30	50	50	50	80	80	80
80	30	50	50	50	50	80	80	80
100	50	50	50	50	50	80	80	100
150	50	50	50	50	80	80	80	100
200	50	50	50	50	80	80	80	100
250	50	50	50	50	80	80	100	100
300	50	50	50	50	80	80	100	100
350	50	50	50	50	80	80	100	100
400	50	50	50	50	80	80	100	100
450	50	50	50	50	80	80	100	100
500	50	50	50	50	80	80	100	100
600	50	50	50	50	80	80	100	100
Above 600 and flat surface	50	50	80	80	100	100	100	150



---

## 2.2.7 Pemasangan Insulasi Glasswool Pada Pipa

Perlakuan pada pipa yang harus diterapkan sebelum dibungkus insulasi adalah sebagai berikut (NORSOK Standard. 1999):

- ) Pipadan bahan insulasi harus benar-benar rekat bersama-sama dan dijamin untuk pipa dengan band-band stainless steel.
- ) Insulasi harus dijamin dengan band-band lebih lapisan luar pada setiap sisi sendi radial dan di pusat setiap bagian.
- ) Spasi band untuk lapisan dalam insulasi multi layer hanya perlu cukup untuk menahan bagian di tempat sampai lapisan luar dijamin.
- ) Untuk menutupi siku dan permukaan tidak teratur lainnya, bagian dapat dipotong dan dipasang di lapangan.

## 2.3 Coating (pelapisan)

### 2.3.1 Definisi Coating

Pelapisan (coating) adalah proses penambahan atau penumpukan suatu material ke suatu permukaan material lain (atau material yang sama). Pada umumnya pelapisan diterapkan ke suatu permukaan dengan tujuan untuk:

1. Melindungi permukaan dan lingkungan yang mungkin menyebabkan korosi atau deterioratif (merusak).
2. Untuk meningkatkan penampilan permukaan.
3. Untuk memperbaiki permukaan atau bentuk suatu komponen tertentu dan lain-lain (Pawlowski, 2008).

Sistem pelapisan digunakan untuk melindungi material dari serangan korosi secara ekstensif. Pemilihan jenis material dan metode *coating* harus memperhatikan beberapa faktor. Material *coating* yang ideal digunakan untuk melapisi adalah sebagai berikut :



1. Logam pelapis harus lebih tahan pada lingkungan dibanding dengan logam yang dilindungi.
2. Logam pelapis tidak boleh memicu korosi setelah melapisi logam yang dilindungi.
3. Sifat mekanik dan fisik seperti kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan korosi, dan sifat termal harus memenuhi kondisi operasi komponen yang bersangkutan.
4. Metode pelapisan harus sesuai dengan metode fabrikasi komponen
5. Tebal pelapisan harus homogen dan tidak mengandung pori

### **2.3.2 Coating Poly Tetra Flouro Ethylene**

PTFE (Teflon) adalah bahan termoplastik semi-kristal, dengan temperatur kerja berkisar hingga 400/500 °F (240/260 °C). Pelapisan PTFE menggunakan dua coat (primer dan top coat). Coating PTFE memiliki thermal resistant yang tinggi, koefisien gesekan yang sangat rendah, ketahanan abrasi yang tinggi dan chemical resistance yang baik. Sehingga cocok digunakan sebagai insulator pada kabel dan pipa untuk mencegah kebakaran dan perpindahan panas yang tidak diinginkan.(MetCoat)

Manfaat coating PTFE:

1. Tahan korosi
2. Chemical resistance
3. Mudah dipasang dan di lepas
4. Memiliki koefisien gesek yang rendah
5. Heat resistance yang tinggi

Properties PTFE yang digunakan untuk pelapisan pada pipa terdapat pada tabel berikut:



Tabel 2.5 Properties PTFE (MetCoat)

PTFE Coating Statistics	
Tensile Strength (ASTM D1708)	3000-5000 psi
Elongation (ASTM D1457)	300-500%
Impact Strength (ASTM D256)	3.5 ft-LB/in
Hardness (ASTM D2240)	50-65 HR (shore D)
Abrasion Resistance (Tabor)	12 mg
Coefficient of Friction (ASTM D1894)	.12-.15 static, .05-.10 dynamic
Dielectric Strength (ASTM D149)	450 volts per mil
Use Temperature	600°F max
Melting Point	625°F
Thermal Conductivity	1.7 BTU/inh ft <sup>2</sup> °F
Chemical Resistance (ASTM D543)	Excellent
Salt Spray Resistance (ASTM B117)	Fair
Water Absorption (ASTM D670)	<.01%
Thickness	.001" - .003"

Standar tebal layer coating PTFE dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel 2.6 Standar tebal layer coating (JFE Steel Corporation)

Outside diameter of pipe		Coating film Thickness (mm)
Nominal (in.)	O.D. mm (in.)	Single Layer type (Standard)  PE
6	165.2	2.0
8~12	219.1 (8.625)~323.9 (12.750)	2.5
14~24	355.6 (14.000)~609.6 (24.000)	



---

## 2.4 Korosi Didalam Insulasi (CUI)

### 2.4.1 Definisi CUI

Korosi dibawah insulasi (CUI) adalah jenis korosi yang menjadi masalah utama yang nyata dan sangat berbahaya di lingkungan industry Oil and Gas yang menggunakan fasilitas pipa uap air yang terisolasi sebagai sarana pendukung proses produksi. Oleh karena itu berdasarkan API 570, telah menempatkan bahwa jenis korosi di bawah isolasi ini menjadi perhatian khusus dan utama untuk lingkungan industry petroleum dan petrokimia yang memanfaatkan energy panas dalam proses produksinya (Syahril, 2005)

Korosi jenis ini merupakan korosi yang terjadi pada bagian yang terinsulasi atau terisolasi, korosi yang terbentuk adalah *localized corrosion*. Pada umumnya jenis korosi ini akan memberikann efek terhadap kondisi pipa yaitu terjadinya korosi sumuran (*pitting corrosion*) dan korosi induksi tegangan (*stress corrosion cracking*) yang dapat menyebabkan terjadi kegagalan pada material pipa tersebut. CUI sulit ditemukan karena letaknya didalam insulasi pipa dan crack terjadi secara perlahan tanpa terlihat perubahan secara significant, sehingga jenis korosi ini seakan mendadak dan dapat menimbulkan kebocoran dengan potensial bahaya yang tinggi.

Fenomena korosi ini terjadi akibat terjebaknya air di dalam insulasi sehingga menyebabkan proses korosi berlangsung. Kebanyakan logam seperti baja, nekel, tembaga dan seng mengalami kelembaman relative besar dari 60%. Jika kelembaman lebih dari 80% maka baja menjadi higroskopik dan laju korosi meningkat. Laju korosi pada pipa yang diinsulasi dapat meningkat 20 kali lebih cepat dibandingkan dengan yang tidak diinsulasi.

Korosi di dalam insulasi umumnya menyerang pada material carbon steel tetapi ada juga yang menyerang stainless steel. Perpipaan yang memerlukan pemeriksaan untuk mengidentifikasikan ada atau tidaknya korosi dibawah insulasi adalah perpipaan yang terinsulasi yang beroperasi dalam





temperatur  $-12^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $175^{\circ}\text{C}$  untuk material carbon steel dan low alloy steel, sedangkan  $60^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $205^{\circ}\text{C}$  untuk stainless steel. (W.J. Batty, 2006)



Gambar 2.2 Korosi dibawah insulasi (R. Soeren Nyborg. 2015)

Pada baja karbon dan baja paduan rendah cenderung mengalami serangan korosi merata (*uniform corrosion*) akibat asam atau lingkungan yang lembab. Pada korosi merata ini tidak dapat dibedakan sepenuhnya antara daerah anodic ataupun katodiknya dan korosi ini menyebabkan terkikisnya permukaan logam. Korosi semacam ini biasanya ditemukan dimana logam kontak dengan asam atau larutan garam. Apabila ada larutan nitrat atau air laut terjebak didalam insulasi maka akan menyebabkan stress retak korosi (*stress corrosion cracking*). SCC adalah fenomena kegagalan pada paduan yang terjadi dengan perambatan retakan di lingkungan korosif.



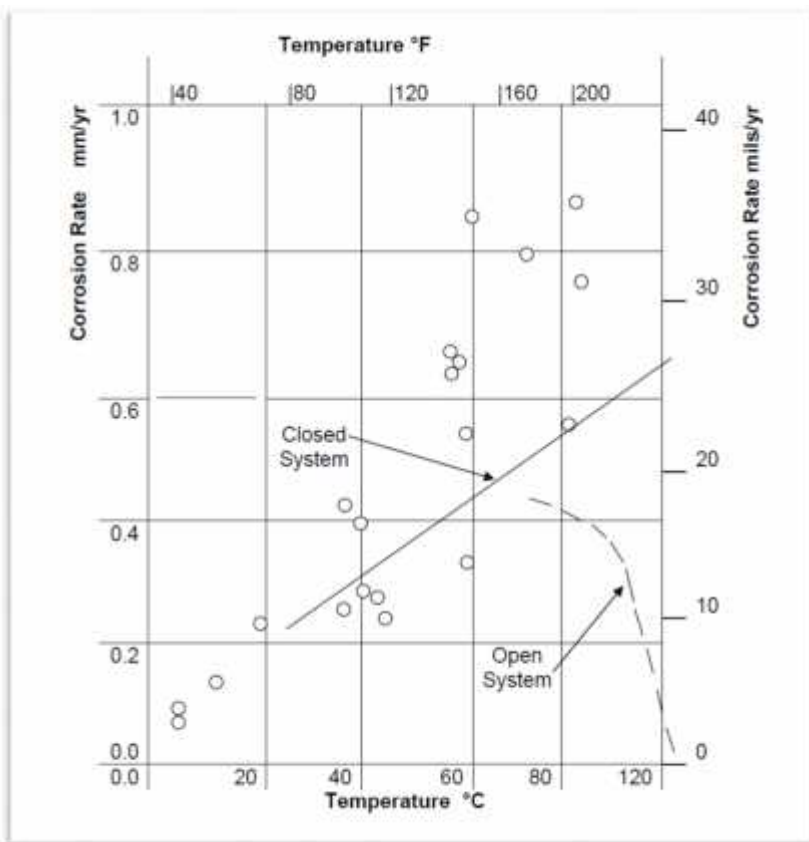
### **2.4.2 Faktor CUI**

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi terjadinya CUI, antara lain sebagai berikut:

1. Air  
Korosi dibawah insulasi digolongkan sebagai korosi atmosferik dengan factor penyebab air. Air yang mungkin berasal dari hujan, kabut, atau pengembunan akibat kelembaban relative tinggi.
2. Kandungan bahan kimia dalam air  
Laju dan tingkat serangan CUI biasanya ditentukan oleh konduktivitas elektrolit yang bergantung pada kadar bahan pengotor yang terlarut. Bahan pengotor ini berbeda-beda, dari karbon dioksida (membentuk larutan agak asam), ion-ion ammonium, serta ion-ion klorida di lingkungan laut.
3. Kandungan bahan kimia dalam udara  
Tingginya tingkat laju korosi yang terjadi juga diakibatkan adanya factor dari lingkungan dimana sistem bekerja. Adanya udara yang bercampur dengan sulfur, chloride ataupun unsur lain yang dapat menjadikan lingkungan lebih korosif
4. Temperatur  
Temperatur berpengaruh terhadap korosi melalui dua cara:
  - a. Peningkatan temperatur biasanya diikuti oleh peningkatan laju reaksi. Temperatur servis antara 32 °F dan 212 °F (0°C dan 100 °C) memungkinkan air masih dalam bentuk cair. Dengan range temperatur tersebut, laju korosi akan naik dua kali setiap kenaikan temperatur 27 °F sampai 36°F (15 °C sampai 20°C).
  - b. Perubahan temperatur berpengaruh terhadap kelembaban relative dan dapat menyebabkan pengembunan pada titik embun (dew point condensation). Jika temperatur turun lebih rendah dari titik embun, udara menjadi jenuh dengan uap air dan titik-titik air akan mengendap pada setiap permukaan



yang terbuka. Pengembunan bisa terjadi di semua permukaan yang cukup dingin, baik di luar maupun di dalam insulasi. Titik-titik air dapat menggenang pada tempat-tempat tertentu dan membentuk kolam elektrolit yang tersembunyi dalam suatu struktur sehingga korosi terjadi do tempat yang tidak disangka-sangka.



Gambar 2.3 Grafik hubungan antara temperatur dan laju korosi (Winnik, 2016)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Pada gambar dapat dilihat hubungan antara temperatur dan laju korosi, pembangnya lebih ditujan pada perbedaan sistemnya yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Lebih jelasnya maka dapat dilihat pada keterangan dibawah:

1. Pada Sistem Terbuka

Pada sistem terbuka dapat diketahui dengan kenaikan temperatur maka laju korosi akan meningkat namun akhirnya kembali menurun. Dal ini dikarenakan air yang tersisa akan menguap sehingga tidak ada air yang terjebak di dalam sistem.

2. Pada Sistem Tertutup

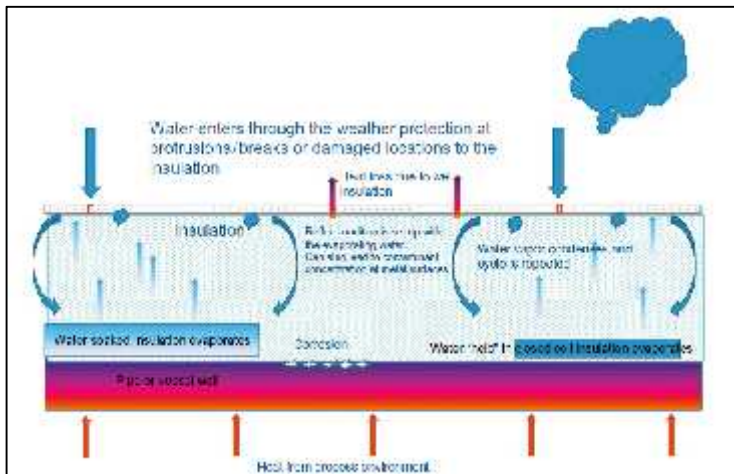
Sistem Ini berbeda dengan sistem terbuka, pada sistem ini dengan kenaikan tenperatur maka laju korosi akan meningkat atau dapat dikatakan bahwa temperatur sebanding dengan laju korosinya. Karena pada sistem ini air tidak dapat menguap secara sempurna dan akan terjebak di dalam sistem

### **2.4.3 Mekanisme CUI**

Korosi yang terjadi pada pada pipa yang terinsulasi ini diawali dengan adanya air yang masuk atau terperangkap pada suatu titik dimana adanya insulasi yang rusak yang menyebabkan pipa tidak tertutup sempurna, air tersebut terperangkap dan menyebabkan factor utama terjadinya CUI (corrosion Under Insulation)

Pada dasarnya proses atau mekanisme korosi dibawah insulasi akan terjadi dengan melibatkan tiga persyaratan, yaitu:

1. Ketersediaan oksigen
2. Temperatur
3. Konsentrasi dari jenis unsur-unsur substansi korosif



Gambar 2.4 Mekanisme Terjadinya Korosi (Winnik. 2016)

Pada keadaan normal, saat temperatur meningkat, jumlah oksigen yang terdapat di bawah insulasi akan berkurang dan akan menyebabkan kelembaban yang relative tinggi sehingga terjadi pengembunan pada celah antara dua permukaan tersebut. Sehingga bagaimana pun bentuk yang terjadi dibawah insulasi akan memberikan peluang terjadinya proses korosi akibat perbedaan konsentrasi kondisi material baja, dan proses korosinya akan lebih meningkat jika adanya unsur-unsur yang bersifat korosif seperti chloride dan asam belerang dari udara yang berdifusi melalui celah-celah insulasi. Sehingga unsur-unsur yang bersifat korosif tersebut sangat dominan dalam meningkatkan laju korosi dengan proses sesuai dengan karakteristik material tersebut. (Kumar, 2008)

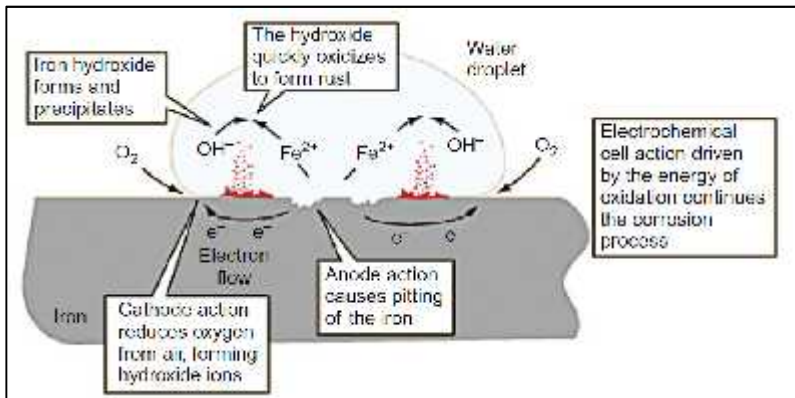
Uap air yang terperangkap biasanya menggenang di bawah pipa. Oleh karena itu, corrosion under insulation umumnya terjadi di bagian bawah pipa. CUI ini akan menjadi lebih cepat karena uap air akan terus terperangkap tanpa terjadinya penguapan karena terhalang oleh insulasi, selain itu insulasi ini juga dapat



menyebarkan atau mengalirkan uap air ke lokasi lain sehingga korosi menyebar secara lebih cepat.

#### 2.4.4 Reaksi yang terjadi pada CUI

CUI merupakan reaksi elektrokimia, membutuhkan 4 elemen, anoda katoda, elektrolit dan kontak metalik. Elektrolit dalam bentuk paling sederhana merupakan air yang mengandung oksigen, dimana ada kemungkinan terdapat zat yang korosif sehingga mempercepat laju korosi. Gambaran sederhana dari reaksi elektro kimia yang terjadi pada CUI dapat dilihat pada gambar dibawah

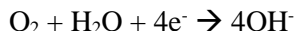


Gambar 2.5 Reaksi korosi pada CUI (Winnik. 2016)

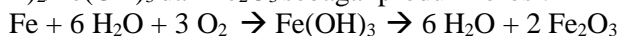
Reaksi oksidasi



Reaksi Reduksi



$\text{OH}^-$  bereaksi dengan  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$  membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2/\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebagai produk korosi.





### 2.4.5 Risiko CUI

Risiko terjadinya CUI pada temperatur kerja pipa 50°C sampai dengan 175°C lebih besar dari pada temperatur kerja lainnya dengan kondisi yang sama. risiko terjadinya CUI juga semakin besar dengan meningkatnya adanya kemungkinan insulasi bocor dan menyebabkan air dan udara masuk ke dalam insulasi dan beraksi dengan pipa. (NACE JUBAIL, 2015)

Tabel 2.7 Risiko terjadi CUI

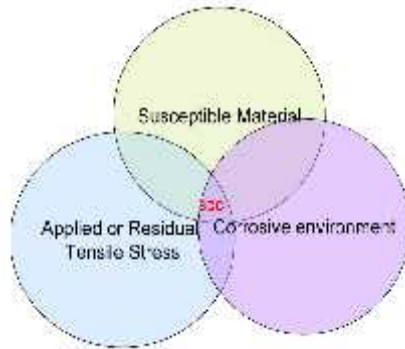
Operating temperature	CUI risk
< -5 °C (25 °F)	Low
> 175 °C (347 °F)	Low
-5 to 49 °C (25 to 121 °F)	Medium
50 to 175 °C (122 to 347 °F)	High
Cycling temperatures between -20 and 320 °C (-4 and 608 °F)	Extreme

### 2.4.6 Jenis korosi pada CUI

Pada kejadian aktual di lapangan dan juga penelitian yang telah dilakukan sebelumnya telah di dapatkan jenis jenis korosi yang timbul pada permukaan luar pipa yang dibungkus insulasi, diantaranya adalah (Susan Caines, 2014):

1. *Stress Corrosion Cracking*

*Stress Corrosion Cracking* merupakan masalah di banyak industri dan lingkungan. Semua bentuk SCC tergantung pada kehadiran tiga faktor seperti ditunjukkan pada Gambar berikut:



Gambar 2.6 Penyebab Stress Corrosion cracking

SCC bawah isolasi adalah masalah di lingkungan laut ((Delahunt, 2003) ((Ed) Winnik, 2008)). Babakr dan Al-Subai (2006) membahas dua studi kasus yang melibatkan SCC bawah isolasi di Proses perpipaan. Mereka menemukan bahwa akumulasi klorida pada pipa lepas pantai dengan waktu berkontribusi pada penciptaan SCC lingkungan rentan (Babakr dan Al-Subai, 2006).

## 2. Korosi Seragam/ Permukaan

Korosi seragam adalah degradasi logam pada seluruh daerah yang berinteraksi langsung dengan lingkungan. Ini adalah reaksi yang berkelanjutan antara anoda dan katoda di atas permukaan yang menyebabkan degradasi logam yang relatif seragam pada permukaan logam (Davis, 2000). Korosi seragam umumnya lebih mudah di ketahui dan lebih mudah untuk diukur karena korosi terjadi di seluruh wilayah permukaan (Buschow et al., 2001).

Bahan seperti baja karbon yang tidak membentuk lapisan pasif alami lebih rentan terhadap jenis korosi ini. Metode pelapisan / *coating* merupakan metode





yang sering digunakan untuk memperlambat korosi seragam ini. Metode ini dapat melindungi aset dari korosi seragam. Namun, setiap kerusakan yang terjadi pada lapisan *coating* dapat meningkatkan kemungkinan korosi lokal seperti korosi pitting yang menyebabkan kegagalan bencana tak terduga dari komponen proses.

3. Korosi sumuran / *Pitting Corrosion*

Pitting adalah jenis yang paling umum dari korosi lokal (Roberge, 2008). Ini adalah bentuk korosi dimana degradasi material terlokalisasi ke daerah-daerah kecil dan tidak di seluruh permukaan. Menurut Schumacher (1979) beberapa logam terkena lingkungan korosif akan mengembangkan lubang karena partikel garam atau kontaminan lainnya. Faktor-faktor lain dapat berkontribusi untuk pitting termasuk:

- a. inklusi
- b. Diskontinuitas dalam lapisan pelindung (baik alam dan diterapkan)
- c. cacat permukaan

Bahan yang paling mungkin untuk mengembangkan lubang umumnya dilapisi atau secara alami dilindungi.

4. Korosi Akibat Mikrobiologi (MIC)

Mikroorganisme termasuk bakteri yang ditemukan dalam fluida dan organisme ini dapat berkontribusi terhadap degradasi material. Mekanisme degradasi ini disebut Mikroba Mempengaruhi Korosi (MIC). Biofilm dapat terbentuk pada permukaan struktur dan dapat mempengaruhi laju korosi, memulai korosi, atau mengubah modus korosi (Duan et al., 2008). Pembentukan biofilm tidak menjamin efek pada korosi atau CUI khususnya, namun, dalam lingkungan laut;



itu adalah mekanisme yang mungkin yang harus dipantau.

## 2.5 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Dharma (2014) menggunakan material resin PTFE (polytetrafluoroethylene) sebagai insulasi, dan RG-2400 sebagai lapisan coating. Pipa yang digunakan pada penelitian ini adalah carbon steel pipe, grade A106B. Lingkungan pengujian yang dipilih adalah larutan air yang mengandung 100 ppm klorida dengan pH 6 yang disesuaikan menggunakan  $H_2SO_4$  untuk mensimulasikan atmosfer kondensat. Variabel yang digunakan merupakan variasi temperatur kerja dan variasi perlakuan permukaan baja.

Kondisi pengujian yang dipilih adalah Isothermal pada 150°F dan siklus basah//kering, dimana permukaan pipa dijaga pada temperatur 150°F (basah) selama 20 jam dan temperatur 250°F (kering) selama 4 jam. Variasi perlakuan yang diberikan adalah tanpa perlakuan, pre-corroded. Pre-corroded dilakukan dengan memasukkan pipa ke dalam ketel yang berisi larutan uji selama 3 hari, untuk memperoleh korosi awal sebagai pembanding untuk pengujian weightloss. Laju korosi juga dihitung menggunakan polarisasi resisten. Pengukuran dilakukan setiap 20 menit selama 3 hari.

**Tabel 2.8 Kondisi pengujian CUI**

Environment: 100 ppm Cl <sup>-</sup> initial pH adjusted to 6.0 (with 112 $H_2SO_4$ )			
Test #	Test Conditions	Steel Surface Conditions	
		WE1	WE2
1	isothermal (150 F)	as machined	as machined/coating A
2	three wet/dry (150 F/250 F) cycles	as machined	as machined/coating A
3	three wet/dry (150 F/250 F) cycles	pre-corroded	pre-corroded/coating A



Tabel 2.9 Efisiensi coating dan laju korosi dari pengujian polarisasi resistan

Test Number	Test Conditions	Steel Surface Conditions	Duration	Corrosion	% Efficiency
1	Isothermal (150°F) 3 Wet/Dry Cycles (150°F/250°F)	as machined	74.0	10.5	83
		w/ coating A	74.0	1.8	
2	(150°F/250°F)	as machined	72.0	10.0	80
		w/ coating A	72.0	1.0	
3	3 Wet/Dry Cycles (150°F/250°F)	pre-corroded	70.5	14.0	86
		w/ coating A	70.5	2.0	

Tabel 2.10 Efisiensi coating dan laju korosi dari pengujian weight loss

Test Number	Test Conditions	Steel Surface Conditions	Duration	Corrosion	% Efficiency
1	Isothermal (150°F) 3 Wet/Dry Cycles (150°F/250°F)	as machined	74.0	79.0	65
		w/ coating A	74.0	27.5	
2	3 Wet/Dry Cycles (150°F/250°F)	as machined	72.0	137.0	79
		w/ coating A	72.0	29.3	
3	3 Wet/Dry Cycles (150°F/250°F)	pre-corroded	142.0	77.2	70
		w/ coating A	142.5	23.5	

Efisiensi coating dengan pengujian polarisasi pada pipa tanpa perlakuan pada temperatur isothermal memperoleh nilai 83% dan pada temperatur siklus memperoleh efisiensi sebesar 90%. Sedangkan pada pipa pre-corroded memiliki efisiensi sebesar 86%. Sedangkan pada pengujian weight loss efisiensi yang diperoleh lebih rendah dari pengujian polarisasi. Pada pipa tanpa perlakuan temperatur isothermal diperoleh efisiensi sebesar 65% dan pada temperatur siklus diperoleh efisiensi sebesar 79%. Pada pipa pre-corroded diperoleh efisiensi sebesar 70%

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



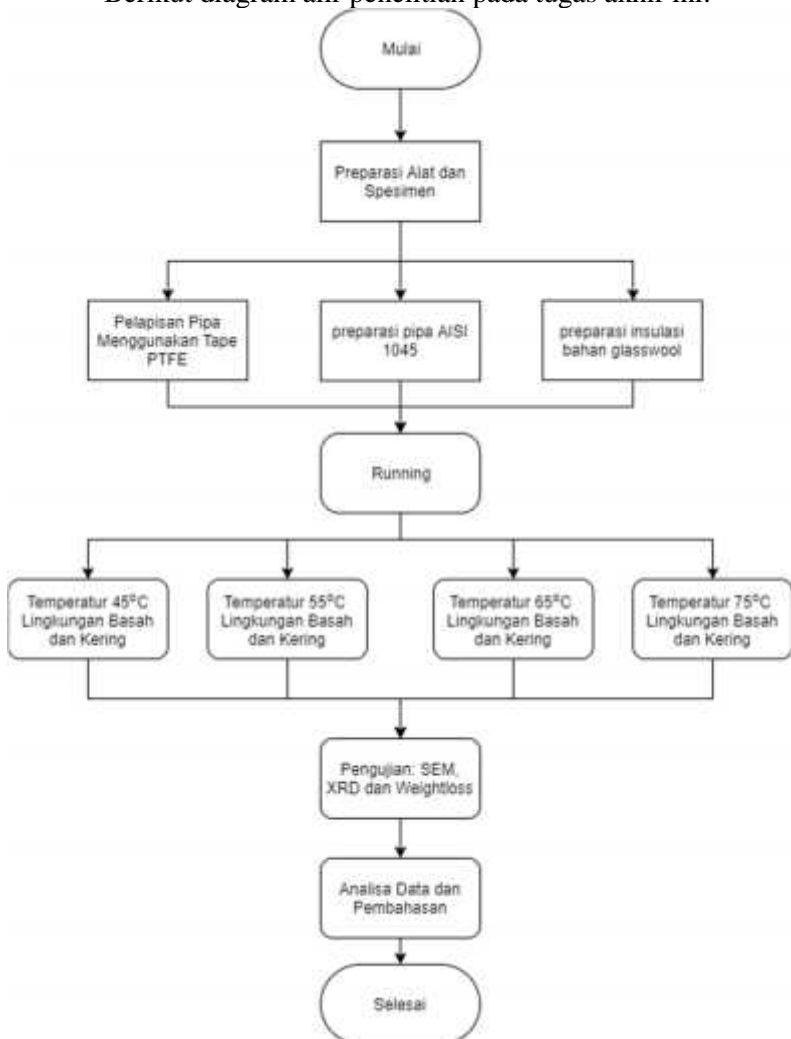
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian pada tugas akhir ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



## 3.2 Alat dan Bahan

### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Thermometer untuk mengetahui temperatur air
2. Selang untuk mengalirkan air
3. Gergaji untuk memotong pipa
4. Gunting untuk memotong glasswool dan alumunium foil
5. Termostat dan heater untuk menghasilkan panas pada fluida
6. Gelas ukur
7. Tank air cadangan sebagai pencegah sistem kekurangan air.
8. Mikroskop optik
9. Scanning Electron Mikroskope (SEM) berfungsi untuk menganalisa morfologi permukaan pipa



Gambar 3.2 Scanning Electron Mikroskope (SEM) FEI Inspect S50.



10. X-Ray Diffractometer (XRD) PANalytical berfungsi untuk mengidentifikasi fasa yang terdapat pada pipa



Gambar 3.3 Mesin XRD *PAN analytical*

### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pipa baja karbon
2. Coating Tape PTFE
3. Glasswool
4. Aluminium foil
5. Isolasi
6. Akrilik
7. Air
8. Lem dextone
9. Box Sebagai wadah penampung air.



### 3.2.3 Spesifikasi bahan penelitian

#### 1. Pipa baja karbon

Komposisi baja karbon yang dipakai adalah seperti yang disebutkan dibawah ini:

Tabel 3.1 Spesifikasi dan Komposisi baja karbon

D. Luar		Tebal		
60,33 mm		3,91 mm	SCH 40	
%C	%Si	%Mn	%P	%Cr
0,23	0,23	0,47	0,013	0,01
%S	%Ni	%Cu	%Mg	%Al
0,033	0,018	0,03	0,01	0,001

#### 2. Glasswool

Spesifikasi glasswool yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Spesifikasi Glasswool

Ukuran roll	Tebal	Densitas
1,2 x 30 m	25 mm	24 kg/mm <sup>3</sup>

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Preparasi Pipa Logam

1. Pemotongan pipa baja karbon berdiameter 60 mm dengan panjang 30 mm, sebanyak delapan potong.
2. Setiap pipa di bersihkan permukaannya dengan kertas abrasive
3. Setiap pipa di timbang tujuannya agar dapat dihitung selisih berat sebelum dan sesudah pipa diuji. Selisih berat ini digunakan untuk perhitungan laju korosi dengan metode weightloss.





4. Masing-masing pipa di coating dengan tape PTFE, dengan tebal yang merata
5. Dari ke delapan pipa, di golongan kedalam dua grup. Masing-masing grup terdiri dari empat pipa. \
6. Keempat pipa grup pertama di perlakukan pada kondisi lingkungan kering dan keempat pipa grup kedua di perlakukan pada kondisi lingkungan basah
7. Pada tiap pipa di tempelkan akrilik dengan lem perekat.



Gambar 3.4 Kondisi pipa logam setelah dipotong



Gambar 3.5 kondisi pipa setelah di coating PTFE



Gambar 3.6 Penimbangan berat awal pipa



Gambar 3.7 Kondisi pipa setelah di temple akrilik

### 3.3.2 Isolasi Pipa logam dengan Glasswool dan Alumunium Foil

1. Memotong bahan insulasi glasswool dengan luasan yang sesuai dengan luas permukaan pipa.
2. Merekatkan glasswool yang telah di potong pada permukaan pipa baja karbon
3. Memotong aluminium foil dengan luasan yang sesuai dengan luas permukaan terluar glasswool.
4. Merekatkan aluminium foil setelah lapisan glasswool



5. Merekatkan insulasi glasswool dan aluminium foil dengan bantuan perekat lem.



Gambar 3.8 Kondisi Pipa Setelah Dibungkus Glasswool dan aluminium Foil

### **3.3.3 Pengkondisian Lingkungan basah**

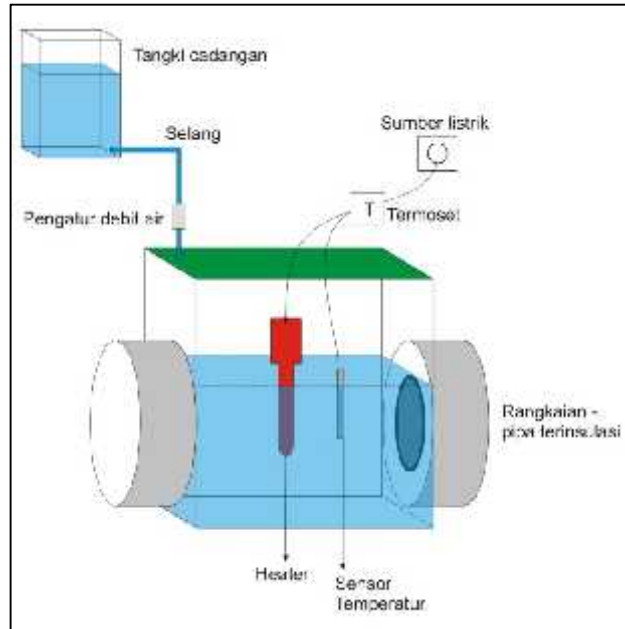
1. Keempat pipa dari grup kedua yang telah dibungkus oleh glasswool dan aluminium foil, dilubangi dengan gunting.
2. Menuangkan air sebanyak 10cc atau 10 ml melalui lubang tersebut
3. Menutup kembali lubang tersebut dengan selotip

### **3.3.4 Perangkaian alat eksperimen**

1. Dari ke dua grup yang telah di kelompokkan berdasarkan kondisi lingkungan tadi di ambil satu pipa dari masing masing grup untuk di jadikan rangkaian pipa. Jadi dalam satu rangkaian terdapat satu pipa dengan kondisi lingkungan kering dan kondisi lingkungan basah
2. Dalam percobaan ini terdapat empat rangkaian dengan dua pipa berbeda kondisi lingkungan. Kedua pipa ini terhubung dengan box yang terisi fluida air panas dengan temperatur yang bervariasi masing masing rangkaian, fluida air tersebut bebas mengalir diantara kedua pipa.



3. Air dalam box tersebut di panaskan dengan bantuan alat termoset, sehingga suhu tetap stabil di temperatur yang diinginkan.
4. Dari keempat rangkaian ini di aliri air dengan temperatur yang berbeda-beda. Yaitu 45, 55, 65 dan 75°C.



Gambar 3.9 Rancangan rankaian eksperimen



Gambar 3.10 Rangkaian Eksperimen Siap Diuji

### 3.4 Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik korosi yang tercipta akibat dari temperatur dan perlakuan coating yang di terapkan. Sehingga akan dilakukan empat pengujian yaitu XRD, Microskop Optik, SEM dan Weightloss.

#### 3.4.1 Pengujian XRD

Analisis XRD merupakan metode yang dapat memberikan informasi mengenai jenis senyawa yang terdapat dalam suatu material. Analisis XRD ini dilakukan untuk membuktikan ada atau tidaknya produk korosi yang terjadi selama proses. Mekanisme kerja analisis XRD ini yakni pipa baja yang telah dilakukan proses *coating* dan direndam di air laut, berukuran  $2 \times 2 \times 0,1$  cm, ditempatkan dalam sample holder yang terdapat dalam XRD kemudian ditembak sinar X. Data hasil penyinaran Sinar X berupa spektrum difraksi. Sinar X dideteksi oleh detektor dan kemudian data difraksi tersebut direkam dan dicatat oleh komputer dalam bentuk grafik *peak* intensitas. Kemudian dianalisis senyawa yang terbentuk dari grafik tersebut dengan cara melihat 3 *peak* tertinggi



yang terdapat pada grafik dengan menggunakan *software* tertentu sehingga dapat menghasilkan suatu data.



Gambar 3.11 Alat XRD

Pengujian XRD ini hanya dilakukan pada pipa yang dirasa akan mengalami kemungkinan korosi nya tinggi yaitu pada pipa kondisi lingkungan basah temperatur 75C . Pengujian dilakukan hanya pada satu pipa baja karbon karena hasil XRD satu pipa cukup mewakili hasil XRD pipa pipa yang lain. Alat XRD yang digunakan adalah *Philip Analytical*.

### 3.4.2 Pengujian SEM

Penggunaan *Scanning Electron Mikroskopy* (SEM) dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan topografi dari korosi yang terbentuk pada pipa baja karbon. Topografi ini digunakan untuk menentukan jenis korosi apa yang timbul pada baja karbon setelah di lakukan eksperimen.

Spesimen pipa baja karbon yang diuji SEM adalah seluruh pipa baja karbon. Dari hasil pengujian SEM ini dapat di tarik kesimpulan pengaruh temperatur dan tebal lapisan coating terhadap jenis korosi yang timbul. Alat Scanning Electron Mikroskop yang digunakan pada pengujian ini adalah *SEM FEI Inspect S50*.



### **3.4.3 Mikroskop Optik**

Pengujian mikroskop optik dilakukan untuk menentukan jenis korosi yang timbul pada permukaan luar pipa baja karbon setelah mengalami pengujian selama 14 hari. Pengamatan permukaan luar pipa dilakukan pada semua pipa dengan perbesaran 50x.

### **3.4.4 Pengujian Weight Loss**

. Metode weight loss merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengukur laju korosi yang terjadi pada suatu logam. Prinsip dari metode ini adalah dengan menghitung banyaknya berat material yang hilang setelah dilakukan pengujian rendaman sesuai dengan standar ASTM G 31-72. Dengan menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu logam di biarkan pada suatu kondisi lingkungan korosif selama beberapa waktu tertentu. Setelah itu dilakukan penghitungan massa kembali setelah dibersihkan dari hasil korosi yang terbentuk, dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Setelah didapat selisih beratnya, dimasukan ke persamaan untuk mendapatkan nilai laju korosi logam yang diuji. Pengujian weightloss ini diujikan pada semua pipa logam setelah periode pengujian selama empat belas hari.



### 3.5 Rencana Pengujian

Rancangan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel 3.3 Rancangan Penelitian

No Rangkaian	Kondisi Lingkungan	Temp. Fluida alir (°C)	SEM	XRD	Mikroskop Optik	Weight loss
1	Kering	45			✓	✓
	Basah		✓		✓	✓
2	Kering	55			✓	✓
	Basah		✓		✓	✓
3	Kering	65			✓	✓
	Basah		✓		✓	✓
4	Kering	75			✓	✓
	Basah		✓	✓	✓	✓



## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisis Data**

##### **4.1.1 Hasil Pengamatan Visual**

Dibawah ini merupakan hasil pengamatan visual dari spesimen permukaan luar pipa baja karbon setelah dilakukan pengujian selama 14 hari.



Gambar 4.1 Korosi yang timbul pada pipa lingkungan kering: (a) 45 °C (b) 55°C (c) 65 °C (d) 75 °C.

Gambar 4.1 merupakan hasil pengamatan makro pada permukaan pipa baja dengan kondisi lingkungan kering dan temperatur pengujian berturut-turut pada 45 °C, 55°C, 65 °C, 75 °C.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa korosi yang timbul pada kondisi kering semakin meningkat dengan kenaikan temperatur pengujian



Gambar 4.2 Korosi yang timbul pada pipa lingkungan basah: (e) 45 °C (f) 55°C (g) 65 °C (h) 75 °C.

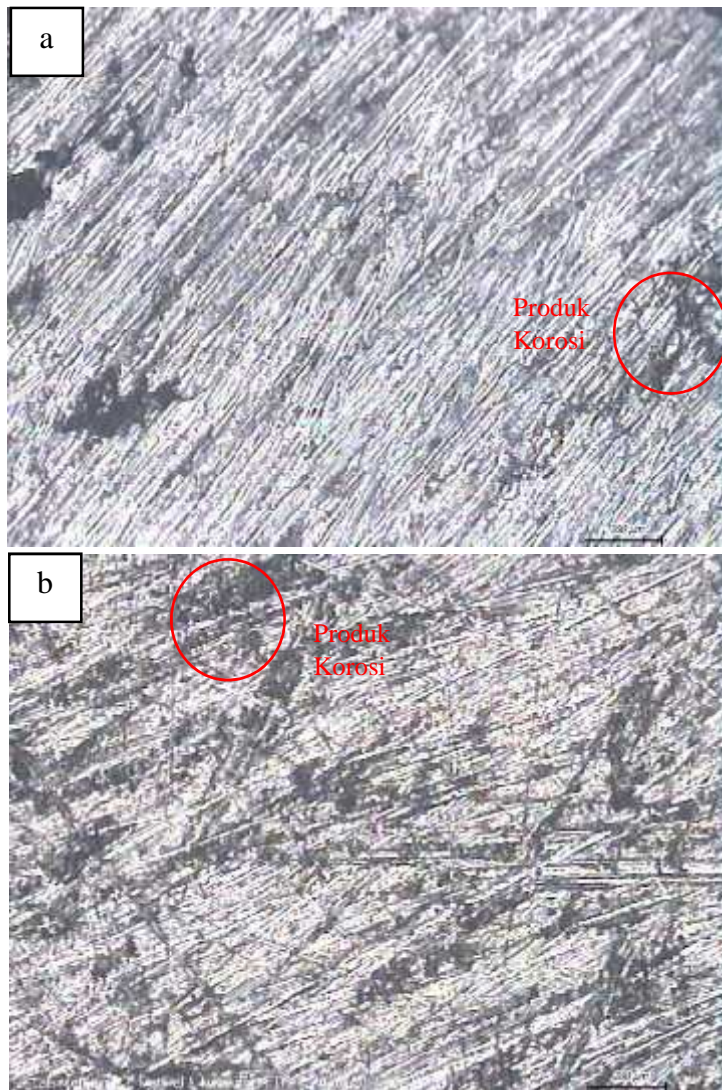
Gambar 4.2 merupakan hasil pengamatan makro pada permukaan pipa baja dengan kondisi lingkungan basah dan temperatur pengujian berturut-turut pada 45 °C, 55°C, 65 °C, 75 °C.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa korosi yang timbul pada kondisi basah semakin meningkat dengan kenaikan temperatur pengujian

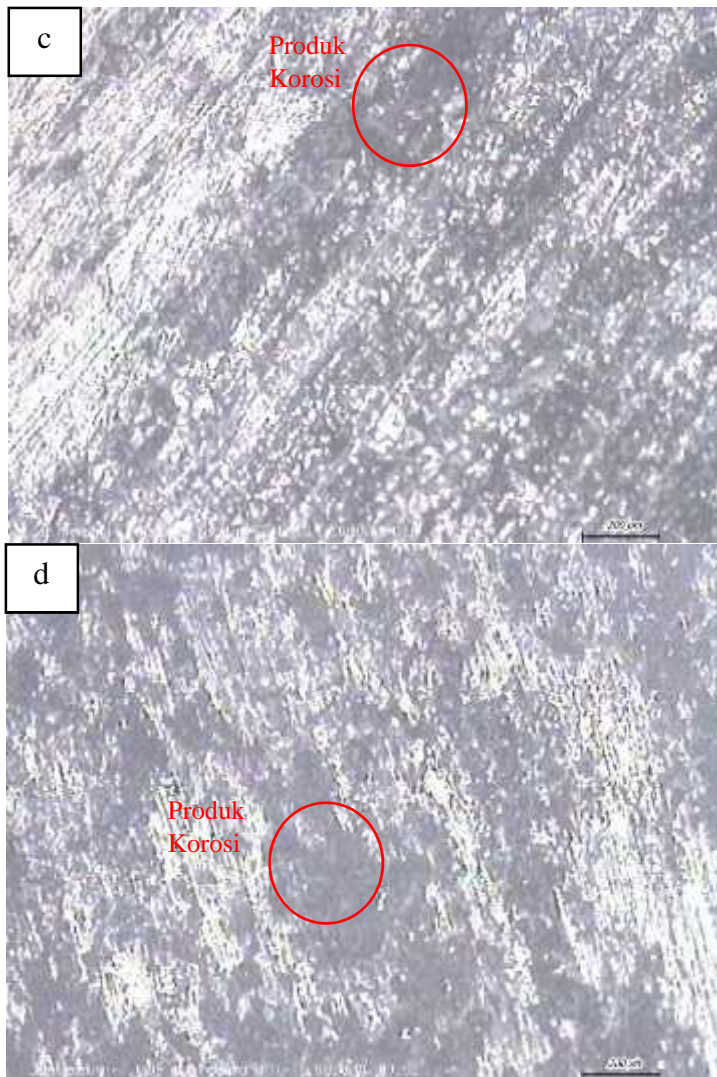
Berikutnya, permukaan luar pipa baja diteliti menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 50x untuk mengamati morfologi dan korosi yang timbul. Hasilnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 sampai dengan 4.6 dibawah ini

---

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

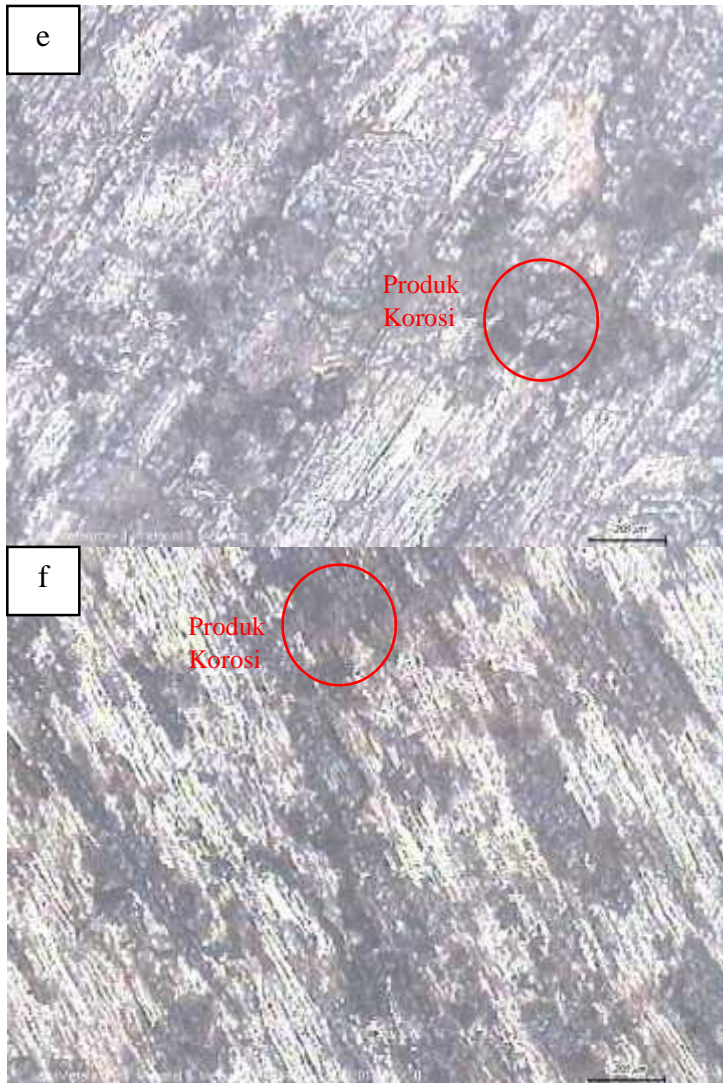


Gambar 4.3 Hasil mikroskop optik perbesaran 50x lingkungan kering: (a) 45 °C (b) 55°C

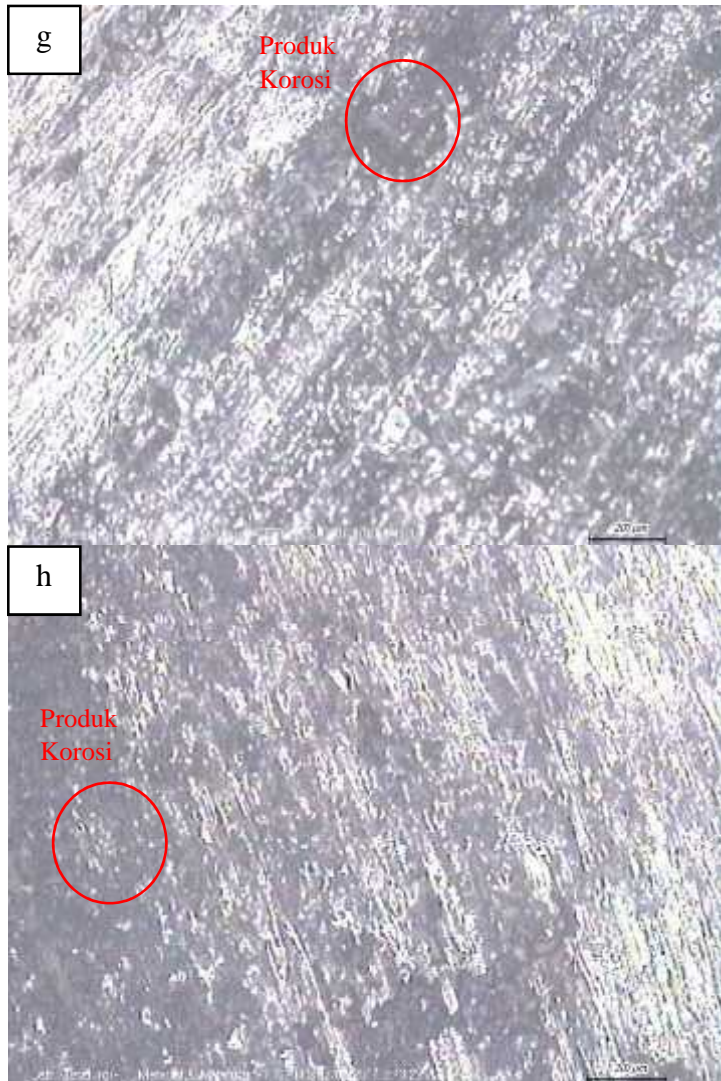


Gambar 4.4 Hasil mikroskop optik perbesaran 50x lingkungan kering: (c) 65 °C (d) 75 °C.





Gambar 4.5 Hasil Mikroskop optik perbesaran 50x Lingkungan basah: (e) 45 °C (f) 55°C



Gambar 4.6 Hasil Mikroskop optik perbesaran 50x Lingkungan basah: (g) 65 °C (h) 75 °C.

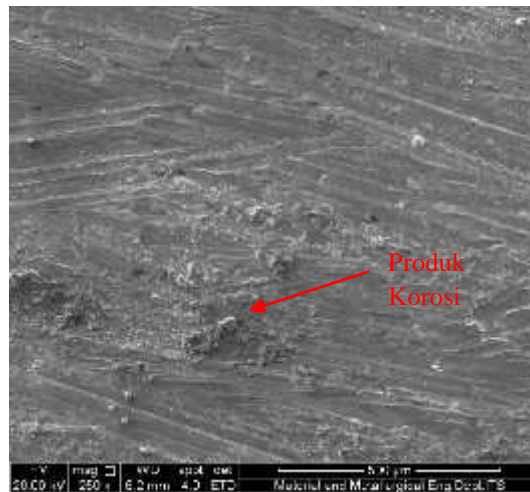
#### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



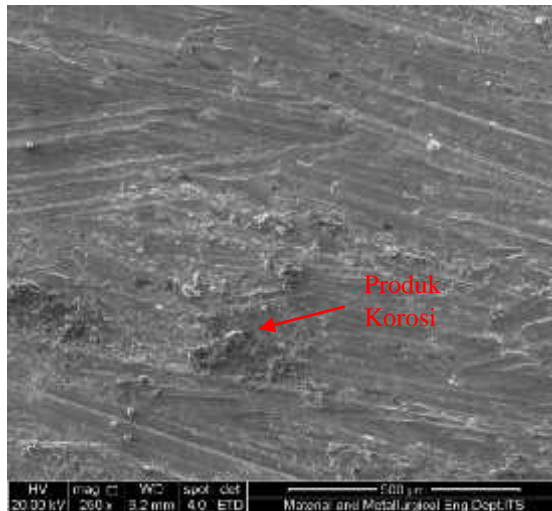
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa jenis korosi yang timbul pada pipa merupakan jenis *uniform corrosion* atau korosi permukaan yang umum terjadi pada permukaan logam.

#### 4.1.2 Hasil Pengujian SEM

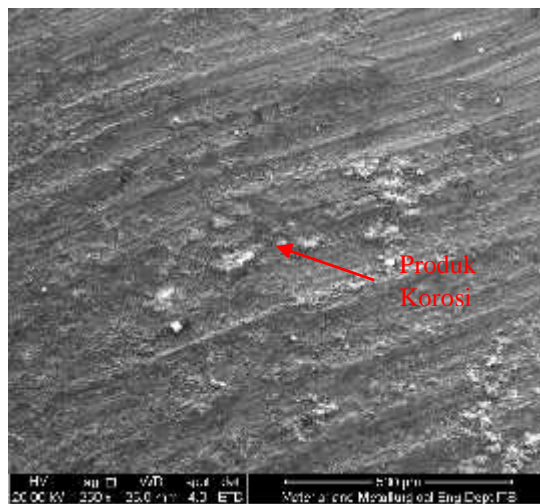
Pengujian SEM dilakukan untuk meneliti morfologi permukaan suatu material. Spesimen pengujian yang dipilih adalah permukaan luar pipa baja karbon kondisi lingkungan basah setelah dilakukan pengujian selama 14 hari. untuk mengamati morfologi dan korosi yang timbul. Hasilnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 sampai dengan 4.10



Gambar 4.7 Hasil SEM perbesaran 250x kondisi lingkungan kering temperatur 45 °C

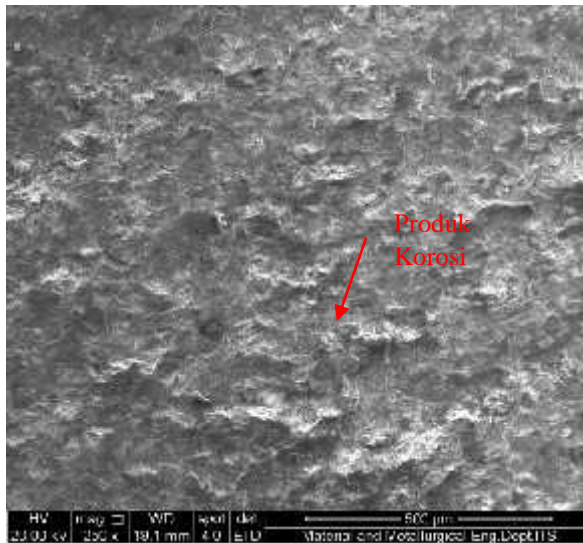


Gambar 4.8 Hasil SEM perbesaran 250x kondisi lingkungan kering temperatur 55 °C



Gambar 4.9 Hasil SEM perbesaran 250x kondisi lingkungan kering temperatur 65 °C





Gambar4.10 Hasil SEM perbesaran 250x kondisi lingkungan kering temperatur 75 °C

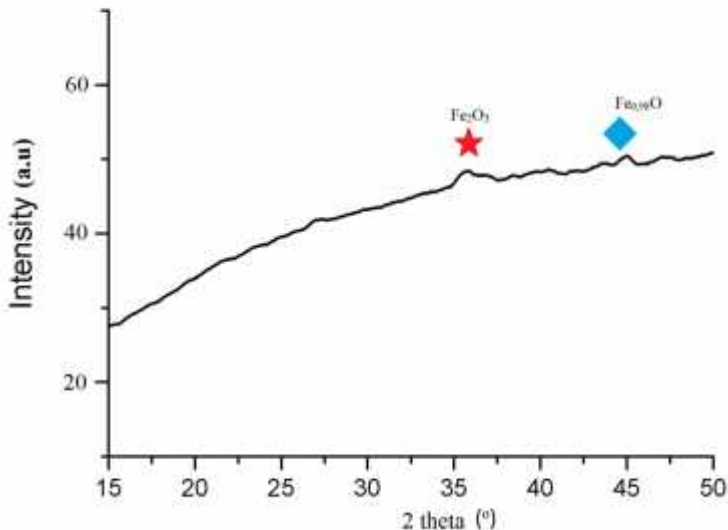
Dari gambar diatas dapat dilihat perbedaan nya bahwa variasi temperatur mempengaruhi korosi yang terbentuk pada permukaan luar pipa. Pada pipa dengan temperatur operasi 45°C persebaran korosi yang timbul dapat dikatakan sedikit sekali. Semakin meningkatnya temperatur fluida alir yang di operasikan pada pipa maka produk korosi yang terbentuk pada permukaan luar pipa baja karbon akan semakin merata dan semakin dalam.

Setelah melihat hasil dari pengujian SEM ini, dapat disimpulkan bahwa jenis korosi yang timbul pada permukaan luar pipa baja karbon merupakan jenis uniform corrosion.



#### 4.1.3 Hasil Pengujian XRD

X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk analisis pengujian fasa atau senyawa pada material dan juga karakterisasi kristal. Hasil dari pengujian ini berupa grafik dengan puncak intensitas dan data 2



Gambar 4.11 Hasil XRD pipa setelah pengujian 14 hari

Adanya *peak* yang timbul mengindikasikan bahwa terbentuk senyawa-senyawa baru setelah dilakukan pengujian dengan variasi temperatur fluida alir. Analisa hasil XRD dilakukan dengan menggunakan *software* JADE untuk mengetahui senyawa pada peak tertinggi hasil pengujian XRD.

Dari hasil pengujian XRD pada pipa setelah pengujian 14 hari, didapatkan beberapa senyawa yang teridentifikasi. menghasilkan dua buah *peak* dengan intensitas tertinggi yaitu



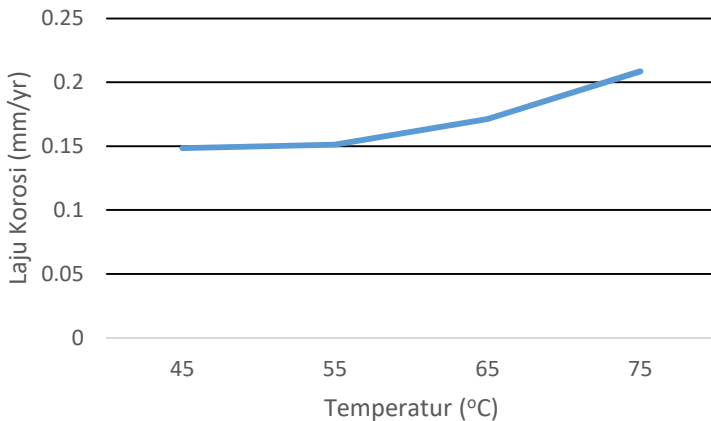
senyawa. Peak tertinggi adalah senyawa *Maghemite-C, syn* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $35.5820^\circ$  dengan intensitas sebesar 96,16%. Dan peak tertinggi kedua adalah senyawa *iron oxide* ( $\text{Fe}_{0,98}\text{O}$ ) dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $44,0647^\circ$  dengan intensitas sebesar 47.81%.

#### 4.1.4 Hasil Pengujian Weightloss

Pengujian weightloss dilakukan agar mengetahui laju korosi dari pipa dengan mengukur selisih berat pipa sebelum dan setelah pengujian selama 14 hari pada lingkungan kering dan basah di temperatur  $45^\circ\text{C}$   $55^\circ\text{C}$   $65^\circ\text{C}$   $75^\circ\text{C}$ . Hasil pengujian weight loss pada lingkungan kering dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Uji Weigh Loss Kondisi Lingkungan Kering

Nama pipa	Temp.( $^\circ\text{C}$ )	Selisih berat	Laju korosi (mm/yr)
Pipa a	45	0.3265	0.1484
Pipa b	55	0.3646	0.1511
Pipa c	65	0.3967	0.1712
Pipa d	75	0.4652	0.2085



Gambar 4.12 Laju korosi pada lingkungan kering

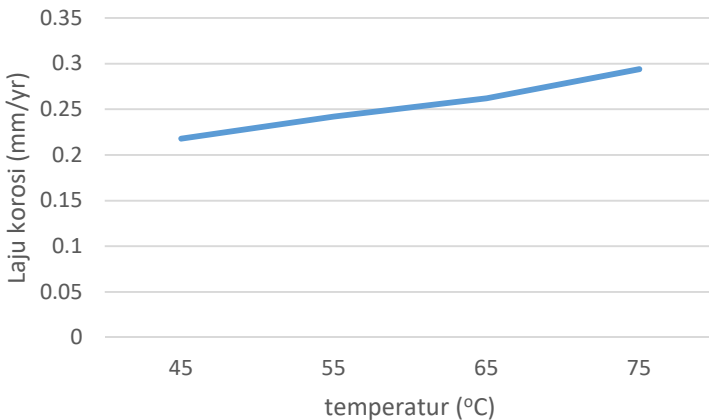
Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa laju korosi pada lingkungan kering meningkat dengan kenaikan temperatur. perhitungan untuk kondisi lingkungan kering dengan variasi temperatur 45°C 55°C 65°C 75°C secara berturut turut adalah sebesar 0.1484 mm/year, 0.1511 mm/year, 0.1712 mm/year, dan 0.2085 mm/year.

Hasil pengujian weight loss pada lingkungan basah selama 14 hari di temperatur 45 °C 55°C 65 °C 75 °C dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



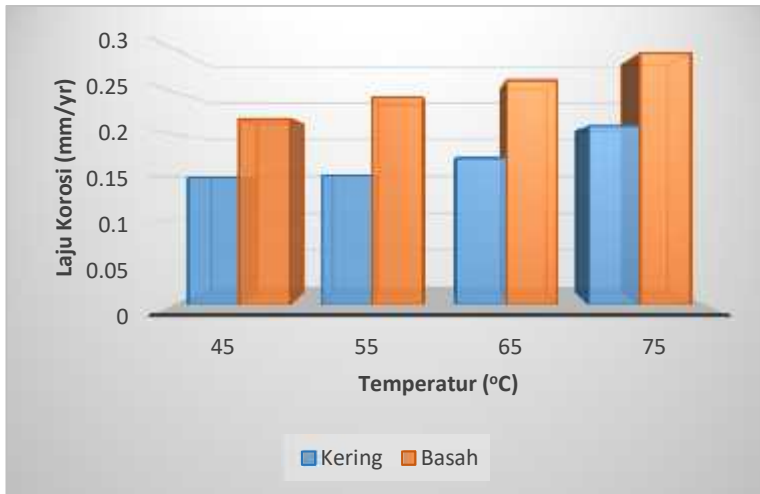
Tabel 4.2 Hasil Uji Weight Loss Kondisi Lingkungan Basah

Nama pipa	Temp.(°C)	Selisih berat	Laju korosi (mm/yr)
Pipa e	45	0.2173	0.2177
Pipa f	55	0.2419	0.2421
Pipa g	65	0.2658	0.2621
Pipa h	75	0.3341	0.2938



Gambar 4.13 Laju korosi pada lingkungan basah

Dari gambar 4.8 dapat dilihat bahwa laju korosi pada lingkungan kering meningkat dengan kenaikan temperatur. perhitungan untuk kondisi lingkungan kering dengan variasi temperatur 45°C 55°C 65°C 75°C secara berturut turut adalah sebesar 0.2177 mm/year, 0.2421 mm/year, 0.2621 mm/year, dan 0.2938 mm/year.



Gambar 4.14 Perbandingan Laju Korosi di Lingkungan Basah dan Lingkungan Kering

## 4.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh temperatur fluida dan kondisi lingkungan terhadap karakteristik korosi pada pipa baja karbon yang diinsulasi bahan glasswool dan aluminium foil. Variasi temperatur operasional yang di operasikan pada pipa adalah 45°C, 55°C, 65°C, 75°C. sementara kondisi lingkungan yang digunakan adalah lingkungan kering dan lingkungan basah.

Hal pertama yang dapat dilihat pada pengujian ini adalah hasil pengamatan visual secara makro yang ada pada permukaan pipa logam yang mengacu pada gambar 4.1 dan 4.2. jumlah korosi yang terbentuk pada permukaan bertambah dengan kenaikan temperatur. Pada kondisi lingkungan kering, korosi yang terbentuk lebih sedikit dari kondisi lingkungan basah.

Selanjutnya dilakukan pengamatan secara mikro melalui alat mikroskop optik. Dari hasil mikroskop optik, berdasarkan gambar



4.3 sampai 4.6 dapat tentukan jenis korosi yang timbul adalah korosi uniform. Hal ini dilihat dari persebaran korosi yang dihasilkan di permukaan luar pipa.

Hasil ini juga diperkuat oleh hasil pengujian *Scanning Electron Mikroskopis* yang di tunjukan pada gambar 4.7 sampai 4.10. Namun terdapat perbedaan dalam penyebaran produk korosi yang terbentuk seiring dengan variasi temperatur yang di operasikan pada pipa. Seiring meningkatnya temperatur yang di operasikan pada pipa, maka korosi yang terbentuk akan semakin merata.

Terbentuknya korosi uniform ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa CUI akan menjadi lebih cepat karena CUI merupakan system tertutup. Uap air akan terus terperangkap tanpa terjadinya penguapan Selain itu sistem insulasi dapat memperluas atau mengalirkan uap air ke lokasi lain sehingga korosi menyebar secara lebih cepat dan merata. (Winnik, 2016)

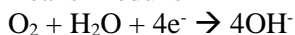
Jenis korosi yang dapat kemungkinan terjadi pada permukaan luar pipa yang terinsulasi adalah *pitting corrosion*, *Stress Corrosion Cracking* dan Korosi Akibat Mikrobiologi (MIC). Namun pada hasil pengamatan visual tidak ditemukan adanya indikasi yang mengarah kepada jenis korosi yang lain.

Pada hasil XRD didapatkan produk korosi yang mengendap di permukaan luar pipa diindikasi sebagai  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Ini disebabkan material pipa baja karbon bereaksi dengan air dan oksigen yang terperangkap di dalam sistem insulasi saat proses insulasi pipa berlangsung dengan reaksi sebagai berikut:

Reaksi oksidasi



Reaksi Reduksi



$\text{OH}^-$  bereaksi dengan  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$  membentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebagai produk korosi.



Senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ini merupakan senyawa dengan intensitas terbesar, yaitu 96,16% dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $35,5820^\circ$ . Hasil yang ditunjukkan pada gambar 4.6 yang menunjukkan hasil pengujian XRD, *peak* tertinggi yang dihasilkan Sedangkan *peak* tertinggi kedua adalah *iron oxide* ( $\text{Fe}_{0,98}\text{O}$ ) dengan sudut  $2\theta$  sebesar  $44,0647^\circ$ , intensitasnya sebesar 47,81%.

Hasil uji weight loss pada kondisi lingkungan kering pada temperatur  $45^\circ\text{C}$ ,  $55^\circ\text{C}$ ,  $65^\circ\text{C}$ ,  $75^\circ\text{C}$  dapat dilihat pada tabel 4.1 masing-masing memiliki nilai berturut-turut 0.1484 mm/year, 0.1511 mm/year, 0.1712 mm/year, dan 0.2085 mm/year. Sedangkan hasil uji weight loss pada temperatur  $45^\circ\text{C}$ ,  $55^\circ\text{C}$ ,  $65^\circ\text{C}$ ,  $75^\circ\text{C}$  dapat dilihat pada tabel 4.2 masing-masing memiliki nilai berturut-turut 0.2177 mm/year, 0.2421 mm/year, 0.2621 mm/year, dan 0.2938 mm/year. Dari kedua hasil uji weightloss tersebut pada dua kondisi lingkungan menunjukkan kenaikan laju korosi setiap peningkatan temperatur.

Ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa pada keadaan normal, saat temperatur meningkat, jumlah oksigen yang terdapat di bawah insulasi akan berkurang dan akan menyebabkan kelembaban yang relative tinggi sehingga terjadi pengembunan ( $\text{H}_2\text{O}$ ) pada celah antara dua permukaan tersebut. Sehingga reaksi yang terjadi dibawah insulasi akan memberikan peluang terjadinya proses korosi akibat perbedaan konsentrasi kondisi material baja. Proses korosi ini akan lebih meningkat jika adanya unsur-unsur yang bersifat korosif seperti chloride dan asam belerang dari udara yang berdifusi melalui celah-celah insulasi. Sehingga unsur-unsur yang bersifat korosif tersebut sangat dominan dalam meningkatkan laju korosi dengan proses sesuai dengan karakteristik material tersebut (M. Suresh Kumar, 2008).





Dari tabel 4.1 dan 4.2 dapat dilihat perbandingan laju korosi pada kondisi lingkungan kering dengan kondisi lingkungan basah. Pada kondisi basah laju korosi meningkat secara signifikan, Ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa Korosi dibawah insulasi digolongkan sebagai korosi atmosferik dengan faktor penyebab air. hal ini disebabkan karena kandungan air dan oksigen yang terperangkap dalam insulasi ikut bertambah akibat penambahan air untuk menciptakan kondisi lingkungan basah.

Coating PTFE yang dilapisi pada permukaan luar pipa mengalami kerusakan, hal ini disebabkan reaksi yang terjadi akibat proses korosi dibawah insulasi itu sendiri. reaksi korosi yang terus berulang didalam sistem insulasi. Sebagaimana diketahui bahwa sistem insulasi yang digunakan merupakan sistem tertutup, sehingga udara terperangkap diantara permukaan pipa dan lapisan *coating*, yang menyebabkan *void* atau ruang kosong. Pada saat dikenai temperatur yang cukup tinggi, udara tersebut mendesak keluar lapisan *coating* dan menyebabkan lapisan *coating* menjadi berlubang, sehingga korosi masih dapat terjadi.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi temperatur fluida alir dalam pipa, maka laju korosi pada permukaan luar pipa yang terbungkus insulasi akan meningkat pula
2. Laju korosi pada kondisi lingkungan basah lebih tinggi dibandingkan laju korosi kondisi lingkungan kering di permukaan luar pipa. Jenis korosi yang timbul pada permukaan luar pipa merupakan jenis korosi *uniform*.

#### **5.2 Saran**

Setelah dilakukan penelitian, terdapat beberapa saran yang mungkin dibutuhkan ketika melakukan penelitian lanjutan. Adapun diantaranya adalah:

1. Karena dioperasikan pada temperatur cukup tinggi, maka fluida air harus di amati agar tidak berkurang volumenya karena penguapan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai korosi dibawah insulasi dengan menggunakan bahan insulasi dan bahan coating yang berbeda.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Dharma 2015. ***“Measurement of Corrosion Under Insulation and Effectiveness of Protective Coating”*** Texas
- A. Jones, Denny. 1996. ***“Principles and Prevention of Corrosion”*** New York: Mcmillan Publishing Company
- Bayuseno. A.P. 2012. ***“Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Air Laut”*** Semarang
- Mamish A. L. 2008. ***“Tape Coating Sistem For Pipeline Corrosion Protection”*** Massachusetts
- M. Suresh Kumar. 2008. ***“Failure Analysis of a Stainless Steel Pipeline”***. *Engineering Failure Analysis* 497–504
- M. Syahril. 2005. ***“Fenomena Korosi dibawah Isolasi Panas pada Material TP-321 Pipa Uap Hidrogen”***.
- NORSOK Standard. 1999. ***“Piping and Equipment Insulation”*** Norway
- Pawlowski, Lech . 2008. ***“The Science and Engineering of Thermal Spray Coating Second Edition”***. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Prawara, B. 2006. ***“Rancang Bangun Thermal Spray Coating Dengan Menggunakan Sistem High Velocity Oxygen.”*** Kegiatan: 4977.0127: Rekayasa Peralatan

R. Soeren Nyborg. 2015. “***Corrosion Under Insulation (CUI) and the Insulation Sistem***” Jubail

Standard Recommended Practice. 1998. “***The Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials***” Texas. NACE International

S. Winnik. 2016. “***Corrosion-Under-Insulation (CUI) Guidelines: Revised Edition***” Cambridge: Elsevier

T. Charng. 1982. “***Review of Corroion Causes and Corrosion Control In a Technical Facility***”.

Thermal Insulation Handbook. 2001. “***Thermal Insulation Handbook***” South Africa: The Thermal Insulation Association of Southern Africa

W.J Batty. 2006. “***Corrosion Under Insulation.***” *Applied Energy* 16 (1984) 239-247

## LAMPIRAN

1. Sertifikasi pipa baja API 5L

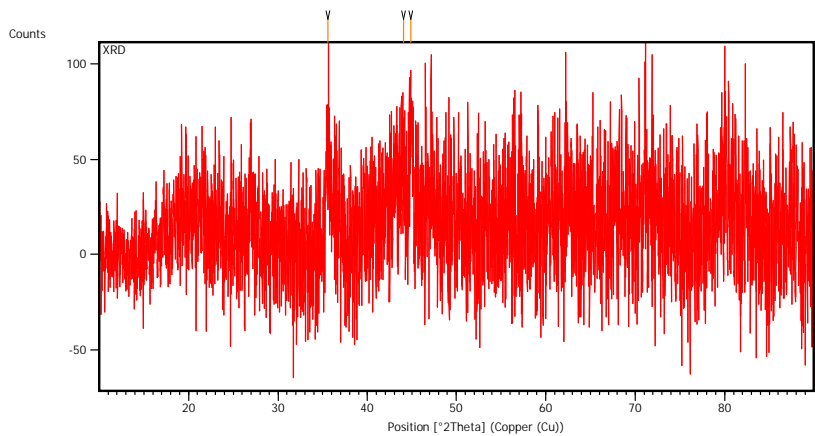


LINZHOU FENGBAO PIPE INDUSTRY CO., LTD.  
林州凤宝管业有限公司产品质量证明书  
INSPECTION CERTIFICATE

明泰公司 (Guangzhou Ma) : 0086 13220202  
地址: 广州市海珠区新港西路100号  
Address: Guangzhou Avenue Luchuan Huan  
Guangzhou, China

[illegible]

## 2. Hasil pengujian XRD



### **Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [ $^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM [cts] [ $^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
35.5820	54.62	0.4015	2.52314	96.16
44.0647	27.16	0.4684	2.05512	47.81
44.8497	56.80	0.4015	2.02096	100.00



### 3. PDF Card

#### a. Peak 1

PDF#39-1088: QM=Doubtful(?); d=Other/Unknown; T=Unknown

Iron Oxide

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Radiation-CuKα1 Lambda=1.5406 Filter=

Calibration- d-tutoff- 1/1c(RIR)-

Ref- Level 1 PDF

Hexagonal(Primitive) 7=3 mp=

Cell 2.801x2.801x7.542<90x90x120> Pearson

Density(c)=6.418 Density(m)= Mwt= Vol=

Ref- ibid.

Strong Line: 2.08/X 2.38/8 2.52/8 1.45/5 1.51/5 1.26/2 1.29/2

d(A)	I(f)	I(v)	h	k	l	n^2	2 Theta	Theta	1/(2d)	2pi/d
2.517	00.0	66.0	0	0	3		35.640	17.820	0.1906	2.4963
2.376	80.0	70.0	1	0	1		37.833	18.917	0.2104	2.6444
2.078	100.0	100.0	1	0	2		43.516	21.758	0.2406	3.0237
1.510	50.0	60.0	1	0	4		61.344	30.672	0.3311	4.1611
1.449	50.0	72.0	1	1	0		64.226	32.113	0.3451	4.3362
1.290	20.0	32.0	1	0	5		73.327	36.664	0.3876	4.8707
1.258	20.0	33.0	1	1	3		75.513	37.756	0.3975	4.9946

# b. Peak 2

PDF#39-1346; QM-Star/Calculated; d-Other/Unknown; I-(Unknown)

Maghemite-C, syn

Fe2O3

Radiation-CuK $\alpha$ 1 Lambda-1.5406 Filter-

Calibration- d-Cutoff- I/Ic(RIR)-1.4

Ref- Level-1 PDF

Cubic, P4132(213) Z-10,667

mp-

Cell-0.351x0.351x0.351<90x90x90>

Pearson-

Density(c)-4.90 Density(m)- Mwt-

Vol-

Ref- Ibid.

Strong Line: 2.52/X 2.95/4 1.40/3 1.61/2 2.69/2 1.70/1 1.69/1 1.27/1

d(A)	I(f)	I(v)	h	k	l	n^2	2-Theta	Theta	1/(2d)	2pi/d
5.918	5.0	2.0	1	1	0	2	14.958	7.479	0.0845	1.0617
4.822	4.0	2.0	1	1	1	3	18.384	9.192	0.1037	1.3030
3.740	5.0	3.0	2	1	0	5	23.771	11.886	0.1337	1.6800
3.411	5.0	4.0	2	1	1	6	26.102	13.051	0.1466	1.8420
2.953	35.0	30.0	2	2	0	8	30.241	15.120	0.1693	2.1277
2.784	2.0	2.0	2	2	1	9	32.124	16.062	0.1796	2.2569
2.643	2.0	2.0	3	1	0	10	33.882	16.941	0.1891	2.3768
2.517	100.0	100.0	3	1	1	11	35.630	17.815	0.1986	2.4956
2.411	3.0	3.0	2	2	2	12	37.249	18.625	0.2073	2.6051
2.316	1.0	1.0	3	2	0	13	38.847	19.423	0.2159	2.7126
2.232	1.0	1.0	3	2	1	14	40.377	20.188	0.2240	2.8150
2.088	16.0	19.0	4	0	0	16	43.284	21.642	0.2394	3.0003
2.025	1.0	1.0	4	1	0	17	44.703	22.352	0.2469	3.1020
1.968	1.0	1.0	3	3	0	18	46.071	23.036	0.2540	3.1919
1.822	2.0	3.0	4	2	1	21	50.007	25.003	0.2744	3.4478
1.764	10.0	15.0	4	2	2	24	53.733	26.866	0.2933	3.6862
1.670	1.0	2.0	4	3	0	25	54.924	27.462	0.2993	3.7617
1.637	1.0	2.0	5	1	0	26	56.106	28.053	0.3053	3.8361
1.607	24.0	30.0	5	1	1	27	57.271	28.636	0.3111	3.9092
1.550	1.0	2.0	5	2	0	29	59.568	29.784	0.3224	4.0518
1.524	2.0	3.0	5	2	1	30	60.685	30.342	0.3279	4.1207
1.475	34.0	50.0	4	4	0	32	62.925	31.463	0.3388	4.2575
1.453	1.0	2.0	4	4	1	33	63.984	31.997	0.3439	4.3222
1.432	1.0	2.0	5	3	0	34	65.072	32.536	0.3491	4.3871
1.391	1.0	2.0	4	4	2	36	67.201	33.601	0.3592	4.5141
1.373	1.0	2.0	6	1	0	37	68.253	34.126	0.3642	4.5762
1.354	1.0	2.0	6	1	1	38	69.305	34.653	0.3691	4.6381
1.320	3.0	6.0	6	2	0	40	71.376	35.688	0.3787	4.7585

### c. Peak 3

```

PDF#00000000: Qs-Houbi+u(2); d-Other/Unknown; f={unknown}
Iron Carbide
FeC
Radiation-CuK $\alpha$ 1 Lambda=1.5406 filter=
Calibration= d Calib#=- 1/10(RIR)=
Ref= Level 1 191=

(Unknown)(Unknown) Z= mp=
Cell= Pearson=
Density(g)= Density(m)= Pw= Vol=
Ref= Ibid,

Strong Line: 2.0778 2.1275 2.2670 2.2870 2.8074 2.8774 2.8774 2.8774
d(A) I(f) I(v) h k l n^2 2-Theta Theta 1/(2d) 2pi/d
2.255 75.0 71.0 19.947 19.974 0.2217 2.7863
2.119 45.0 44.0 42.642 21.316 0.2368 2.9652
2.016 100.0 100.0 44.926 22.463 0.2480 3.1167
1.885 30.0 34.0 50.523 25.261 0.2770 3.4818
1.719 15.0 18.0 53.241 26.622 0.2989 3.6551
1.599 75.0 72.0 60.608 34.828 0.3706 4.1577
1.283 35.0 39.0 79.628 39.814 0.4256 4.2223
1.169 30.0 52.0 82.435 41.218 0.4277 5.3748
1.151 25.0 44.0 84.815 42.887 0.4344 5.4589
1.106 25.0 44.0 84.866 42.244 0.4464 5.4827
1.138 10.0 18.0 85.948 42.874 0.4423 5.5683
1.114 10.0 18.0 87.491 43.745 0.4488 5.6482

```

### 4. Perhitungan Weightloss

kondisi	Temp	kehilangan berat (gr)	luas permukaan (mm <sup>2</sup> )	laju korosi (mm/y)
kering	45	0.2173	48.67	0.1484
basah	45	0.3265	49.87	0.2177
kering	55	0.2419	53.23	0.1511
basah	55	0.3646	50.07	0.2421
kering	65	0.2658	51.61	0.1712
basah	65	0.3967	50.33	0.2621
kering	75	0.3341	53.27	0.2085
basah	75	0.4652	52.64	0.2938

D in (cm)	5.31
D out (cm)	6.05
Konstanta	87500
Density (gr/cc)	7.840
Waktu (jam)	330

## BIODATA PENULIS



Faridz Mohammad Edrie di Padang, 19 Oktober 1995 merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK ADZKIA Padang, SDIT ADZKIAPadang (2002-2007), SMPN 1 Padang (2007-2010), SMAN 1 Padang (2010-2003). Hingga penulis menempuh pendidikan tinggi di departemen Teknik Material dan Metallurgi ITS pada tahun (2013-2017). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di 3 (tiga) organisasi yaitu, Himpunan Teknik Mahasiswa Material ITS, LDJ Ash-Habul Kahfi, dan Society of Petroleum Engineering ITS Student Chapter.

Penulis menjadi panitia di setiap acara-acara yang diadakan oleh masing-masing organisasi. Penulis sangat senang sekali jika ada yang ingin berdiskusi lebih lanjut terkait tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email: [faridz.edrie@gmail.com](mailto:faridz.edrie@gmail.com) sekian dan terima kasih.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*